

ESCUELA POLITECNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERIA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

**GENERACIÓN DE UN MODELO DE PREDICCIÓN DE RUIDO
APLICANDO TÉCNICAS GEOESTADÍSTICAS EN LAS
PARROQUIAS DE SAN RAFAEL Y SANGOLQUÍ DEL
CANTÓN RUMIÑAHUI**

Previa a la obtención de Grado Académico o Título de

INGENIERO GEÓGRAFO Y DEL MEDIO AMBIENTE

ELABORADO POR:

**JUAN PABLO GÓMEZ ESPINOZA
EDGAR FERNANDO PARRA CÁRDENAS**

SANGOLQUI, 27 de Julio de 2012

AUTORIZACIÓN

Nosotros, JUAN PABLO GÓMEZ ESPINOZA y
EDGAR FERNANDO PARRA CÁRDENAS

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “GENERACIÓN DE UN MODELO DE PREDICCIÓN DE RUIDO APLICANDO TÉCNICAS GEOESTADÍSTICAS EN LAS PARROQUIAS DE SAN RAFAEL Y SANGOLQUÍ DEL CANTÓN RUMIÑAHUI”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 27 de Julio de 2012

JUAN P. GÓMEZ E.

EDGAR F. PARRA C.

EXTRACTO

El crecimiento acelerado que esta sufriendo las parroquias de San Rafael y Sangolquí en todos sus componentes económicos como sociales, ha provocado un incremento en los niveles de ruido permitidos en la Ordenanza de Gestión Ambiental del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui.

Al considerar a la variable ruido como un problema que afecta directamente a la población en general, se realiza el presente estudio aplicando técnicas geoestadísticas para predecir y valorar la distribución del ruido en las áreas de estudio tanto diurnas como nocturnas.

Esta valoración del ruido concluye en la realización de una Mapa de predicción de ruido diurno en las parroquias de San Rafael y Sangolquí con niveles de ruido que fluctúan entre 40,2 dB(A) a 83,1 dB(A) indicando que más del 50% de los datos se encuentran sobre 65,03 dB(A) y un Mapa de ruido nocturno de la parroquia de San Rafael con niveles de ruido que fluctúan entre 41,7 dB(A) a 79,4 dB(A) indicando que más 50% de los datos se encuentran sobre los 65,104 dB(A).

ABSTRACT

The accelerated growth that is suffering the parishes of San Rafael and Sangolquí in all the economic and social, has caused an increase in noise levels allowed in the Environmental Management Ordinance of the Autonomous Decentralized Municipal Rumiñahui.

When considering the variable noise as a problem that directly affects the general population, this study is performed using geostatistical techniques to predict and evaluate the distribution of noise in the study areas day and night.

This noise assessment concludes in making a map of daytime noise prediction in the parishes of San Rafael and Sangolquí with noise levels ranging from 40.2 dB (A) to 83.1 dB (A) indicating that more than 50% of the data is about 65.03 dB (a) and nighttime noise map of the parish of San Rafael with noise levels ranging from 41.7 dB (a) to 79.4 dB (A) indicating most 50% of the data is about 65.104 dB (A).

CERTIFICACIÓN

Ing. Marco Luna

Ing. Paulina Guevara

Certifican:

Que el trabajo titulado “GENERACIÓN DE UN MODELO DE PREDICCIÓN DE RUIDO APLICANDO TÉCNICAS GEOESTADÍSTICAS EN LAS PARROQUIAS DE SAN RAFAEL Y SANGOLQUÍ DEL CANTÓN RUMIÑAHUI”, realizado por los egresados JUAN PABLO GÓMEZ ESPINOZA Y EDGAR FERNANDO PARRA CÁRDENAS, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Debido a su importante aplicación se recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a JUAN PABLO GÓMEZ Y EDGAR FERNANDO PARRA CÁRDENAS que lo entregue al Ingeniero Francisco León, en su calidad de Coordinador de la Carrera.

Sangolquí, 27 de Julio de 2012

Ing. Marco Luna
DIRECTOR

Ing. Paulina Guevara
CODIRECTOR

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

JUAN PABLO GÓMEZ ESPINOZA
EDGAR FERNANDO PARRA CÁRDENAS

Declaramos que:

El proyecto de grado denominado “GENERACIÓN DE UN MODELO DE PREDICCIÓN DE RUIDO APLICANDO TÉCNICAS GEOESTADÍSTICAS EN LAS PARROQUIAS DE SAN RAFAEL Y SANGOLQUÍ DEL CANTÓN RUMIÑAHUI”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las referencias que constan en las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 27 de Julio de 2012

JUAN P. GÓMEZ E.

EDGAR F. PARRA C.

DEDICATORIA

A MI PADRE EL GRAL. HUMBERTO ANIBAL PARRA CUESTA QUE FALLECIÓ DURANTE EL DESARROLLO DE LA PRESENTE TESIS, MI EJEMPLO DE VALENTIA, SACRIFICIO, RESPONSABILIDAD Y LA VOZ DE CONSUELO Y ALIENTO EN LOS MOMENTOS DIFICILES.

CAPT. DE E. EDGAR F. PARRA C

A DIOS POR HABERME DADO LA FORTALEZA ESPIRITUAL PARA PODER SEGUIR ADELANTE EN LA CULMINACIÓN DE NUESTRA TESIS.

A MI ESPOSA PATRICIA GUIJARRO DE GÓMEZ A MIS HIJOS PABLITO JOSUE GOMEZ G. Y MARÍA RAFEL GOMEZ G., QUE EN TODO MOMENTO ME DIERON EL ALIENTO Y EL APOYO PARA TERMINAR LO INICIADO Y QUE SON MI GUÍA PARA SEGUIR ADELANTE.

A MIS PADRES DR. THELMO H. GÓMEZ G., MARIA ESPINOZA A., POR HABERME DADO LA VIDA Y POR CREER EN MÍ, QUE CON SU EJEMPLO DE VIDA, RESPETO Y COMPRENSIÓN, ME HAN GUIADO A CUMPLIR MIS SUEÑOS COMO PROFESIONAL.

A MI HERMANO FABRICIO, A MI CUÑADA PATRICIA Y A MIS SOBRINOS ISAI, PAMELITA Y ABBY., QUE SIEMPRE CON SUS SONRISAS ME HAN SABIDO DAR LA VOZ DE ALIENTO PARA SEGUIR ADELANTE.

CAPT DE E. GÓMEZ E. JUAN P.

AGRADECIMIENTO

A la institución

A nuestros padres por su guía y soporte en nuestras vidas

Al Ing. Marco Luna y la Ing. Paulina Guevara que nos apoyaron con sus
conocimientos al desarrollo de la presente tesis

A todos mis profesores en la ESPE que siempre estuvieron para apoyarme anímica y
profesionalmente

CAPT. EDGAR PARRA

CAPT. JUAN GOMEZ

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. ANTECEDENTES.....	3
1.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	5
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	7
1.4. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	8
1.5. OBJETIVOS.....	10
1.5.1. Objetivo general.....	10
1.5.2. Objetivos específicos.....	10
1.6. METAS.....	10
2. MARCO TEORICO.....	11
2.1. SONIDO.....	11
2.1.1. Definición de sonido	11
2.1.2. Descripción de una onda.....	12
2.1.3. Amplitud de onda	13
2.1.4. Longitud de onda.....	13
2.1.5. Frecuencia.....	13
2.1.6. Energía sonora.....	14
2.1.7. Trabajo	14
2.1.8. Potencia	15
2.1.9. Intensidad sonora	15
2.1.10. El umbral de audición	15
2.1.11. El umbral del dolor	16
2.1.12. El decibel.....	16
2.2. CARACTERIZACIÓN DEL RUIDO	18
2.2.1. Definición de ruido.....	18
2.2.2. Ruido ocupacional.....	19
2.2.3. Ruido ambiental	19
2.2.4. Espectro del ruido	21
2.2.5. Sonoridad.....	22
2.2.6. Curvas de ponderación	23

2.2.7. El tiempo	26
2.2.8. Tipos de ruido.....	27
2.2.8.1. Ruido estable	27
2.2.8.2. Ruido fluctuante	27
2.2.8.3. Ruido de impulso.....	27
2.2.9. Nivel de ruido equivalente	27
2.3. propagación del ruido	28
2.3.1. propagación del sonido en el aire.....	28
2.3.2. Efectos meteorológicos	29
2.4. FUENTES DE RUIDO.....	30
2.5. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	32
2.6. EFECTOS DEL RUIDO.....	35
2.6.1. Efectos en los seres humanos	35
2.6.2. Efectos en la fauna.....	40
2.7. MEDIDAS DE MITIGACIÓN	42
2.7.1. Sensibilización a la comunidad	43
2.7.2. Ordenamiento territorial.....	45
2.7.3. Mejorar la infraestructura vial	46
2.7.4. Mantenimiento de la infraestructura vial	46
2.7.5. Barreras acústicas.....	46
2.7.6. Aislamiento de las casas y edificios	48
2.7.7. Promover medios de transporte alternos.....	48
2.7.8. Renovación de la flota de transporte público.....	49
2.7.9. Revisión del parque automotor y motocicletas	49
2.7.10. Influir sobre el comportamiento del conductor	50
2.7.11. Reducir y hacer cumplir los límites de velocidad.....	50
2.7.12. Rediseño del espacio en la calle	50
2.7.13. Prohibiciones sobre el transporte pesado	51
2.7.14. Reducción del ruido en la fuente	51
2.8. NORMAS REFERENTES A LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA	52
2.8.1. Normas internacionales.....	52

1. Chile	52
2. España	53
2.8.2. Normas nacionales.....	54
1. Texto Unificado de Legislación Secundaria Ambiental.....	54
2. Reglamento general de seguro de riesgo del trabajo	55
2.8.3. Normas locales.....	56
1. Ordenanza Metropolitana No. 123 del Distrito Metropolitano de Quito.	56
2. La Ordenanza de Gestión Ambiental, del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui	57
2.9. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.....	58
2.9.1. Variable estadística	58
2.9.2. Variable aleatoria	58
2.9.3. Proceso estocástico	59
2.9.4. Estadística espacial.....	60
2.9.5. Geoestadística	60
2.9.6. Análisis exploratorio de datos.....	61
1. Estadísticos de centralización	62
2. Estadísticos de dispersión.....	62
3. Estadísticos de posición.....	63
4. Estadísticos de forma	64
2.9.7. Variable Regionalizada.....	66
2.9.8. Momentos de una variable regionalizada.....	67
2.9.9. Estacionariedad.....	68
2.9.10. Correlación espacial.....	69
1. Variograma y semivariograma.....	70
2.9.11. Efecto pepita (Co).....	71
2.9.12. Meseta (Co+C1)	71
2.9.13. Rango.....	71
2.9.14. Modelos teóricos de semivarianza	72
1. Modelo esférico	72
2. Modelo exponencial	73

3. Modelo Gaussiano	73
2.9.15. Predicción espacial	74
2.9.16. Kriging	74
1. Kriging ordinario	75
2. Kriging simple.....	75
3. Kriging universal.....	76
3. MEDICIÓN DE RUIDO EN LAS ZONAS DE ESTUDIO	76
3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	77
3.1.1. Parroquia de San Rafael	77
3.1.2. Parroquia Sangolquí.....	78
3.2. MÉTODO DE MEDICIÓN.....	79
3.3. DESCRIPCIÓN DEL SONÓMETRO QUEST SOUNDPRO SP DL 1-1/3.....	80
3.3.1. Descripción técnica del sonómetro SoundPro SP DL 1-1/3	80
3.3.2. Partes del sonómetro SoundPro SP DL 1-1/3	81
3.3.3. Interfaces de hardware.....	81
3.3.4. Accesorios del sonómetro SoundPro SP DL 1-1/3.....	82
3.4. TOMA DE MEDICIONES EN CAMPO.....	83
3.4.1. Materiales y equipos.....	83
3.4.2. Medios de transporte.....	83
3.4.3. Determinación de los puntos de muestreo	83
3.4.3.1. Determinación de los puntos de muestreo para la toma de datos de ruido diurno	83
3.4.3.2. Determinación de los puntos de muestreo para la toma de datos de ruido nocturno.....	88
3.4.4. Determinación del ruido de fondo.....	91
3.4.5. Procedimiento para la toma de mediciones de campo.....	93
3.4.6. Procedimiento para el procesamiento de datos de campo.....	96
4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	109
4.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES EMISORAS DE RUIDO.....	109
4.2. DETERMINACIÓN DEL TIPO DE RUIDO	114
4.3. ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO PARA DATOS DE RUIDO DIURNO	115

4.3.1. Análisis exploratorio de datos de ruido diurno.....	115
4.3.2. Análisis estructural para datos de ruido diurno.....	117
4.3.3. Predicción espacial para los para datos de ruido diurno	121
4.3.4. Validación cruzada para los datos de ruido diurno	123
4.3.5. Validación del modelo de ruido diurno con datos tomados en campo.....	124
4.4. Análisis geoestadístico para datos de ruido nocturno.....	126
4.4.1. Análisis exploratorio de datos de ruido nocturno.....	126
4.4.2. Análisis estructural para datos de ruido nocturno	128
4.4.3. Predicción espacial para los para datos de ruido nocturno	132
4.4.4. Validación cruzada para los datos de ruido nocturno	134
4.4.5. Validación del modelo de ruido nocturno con datos tomados en campo...	135
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	137
5.1. CONCLUSIONES	137
5.2. RECOMENDACIONES	143
6. REFERENCIAS BIBLIOGRFICAS.....	145

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1.1: Mapa Político del Cantón Rumiñahui.	9
Mapa 3.1: Mapa de las manzanas de las parroquias de San Rafael y Sangolquí.	85
Mapa 3.2: Mapa de ubicación de los puntos de medición de ruido diurno de las parroquias de San Rafael y Sangolquí.	87
Mapa 3.3: Mapa de las manzanas de la parroquia San Rafael.	89
Mapa 3.4: Mapa de ubicación de los puntos de medición de ruido nocturno de la parroquia San Rafael.	90
Mapa 3.5: Mapa de ubicación de los puntos de medición de ruido de fondo.	92
Mapa 4.1: Mapa de ruido diurno dB(A) de las parroquias de San Rafael y Sangolquí.	122
Mapa 4.2: Mapa de ruido nocturno dB(A) de la parroquia de San Rafael.	133

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1: Elementos de una curva senoide.	12
Gráfico 2.2: Comparativa de dos funciones periódicas de distinta frecuencia.	14
Gráfico 2.3: Niveles sonoros en bandas de octava de frecuencia.	22
Gráfico 2.4: Curvas de sonoridad de Munson y Fletcher.	23
Gráfico 2.5: Curvas de ponderación A, B, C Y D.	25
Gráfico 2.6: El nivel de presión sonora equivalente de un período de 24 horas. ..	28
Gráfico 2.7: Señales sísmicas que varían en función en función del tiempo durante un terremoto.	59
Gráfico 2.8: Gráfico que resume los estadísticos descriptivos.	61
Gráfico 2.9: Diagrama de cajas de Tukey de una muestra de 200 vehículos.	64
Gráfico 2.10: De izquierda a derecha, 3 cuadros donde existen distribución asimétrica negativa, simétrica y asimétrica positiva respectivamente.	65
Gráfico 2.11: De izquierda a derecha, 3 cuadros donde existe distribución platicúrtica, mesocúrtica y leptocúrtica respectivamente.	66
Gráfico 2.12: Comportamiento típico de un semivariograma acotado con una representación de los parámetros básicos.	72
Gráfico 2.13: Comparación de los modelos exponencial, estérico y Gaussiano. ..	72

Gráfico 3.1: Semivariograma experimental para los niveles promedios de.....	102
Gráfico 3.2: Semivariograma teórico esférico.....	103
Gráfico 3.3: Semivariograma teórico exponencial.....	103
Gráfico 3.4: Semivariograma teórico gaussiano.....	104
Gráfico 3.5: Ventana <i>Selection Semivariogram/Covariance Modeling</i>	106
Gráfico 3.6: Ventana <i>Searching Neighborhood</i>	107
Gráfico 3.7 Ventana <i>Cross Validation</i>	108
Gráfico 4.1: Semivariograma experimental para los datos de ruido diurno	117
Gráfico 4.2: Modelo teórico exponencial para los datos de ruido diurno dB(A) ...	118
Gráfico 4.3: Modelo teórico esférico para los datos de ruido diurno dB(A).	119
Gráfico 4.4: Modelo teórico gaussiano para los datos de ruido diurno dB(A).....	120
Gráfico 4.5: Errores de predicción para datos de ruido diurno	121
Gráfico 4.6: Validación cruzada para datos de ruido diurno.....	124
Gráfico 4.7: Semivariograma experimental para los datos de ruido nocturno	128
Gráfico 4.8: Modelo teórico exponencial para los datos de ruido nocturno dB(A)	129
Gráfico 4.9: Modelo teórico esférico para los datos de ruido nocturno dB(A)	130
Gráfico 4.10: Modelo teórico gaussiano para los datos de ruido nocturno dB(A)	131
Gráfico 4.11: Errores de predicción para datos de ruido nocturno	132
Gráfico 4.12: Validación cruzada para datos de ruido nocturno nocturno	135

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Orientación de las edificaciones con respecto a la carretera. El sonido rebota en la fachada sin afectar a la fachada de la casa contigua	48
Figura 3.1: Archivo .dat para <i>Variowin 2.21</i>	98
Figura 3.10: Modelamiento de la variable ruido.....	108
Figura 3.2: Ingreso del archivo .dat al módulo <i>Prevar 2D</i>	99
Figura 3.3: Ventana que muestra el número de datos y variables	99
Figura 3.4: Ventana en la que asigna las coordenadas ESTE y NORTE	100
Figura 3.5: Ingreso del archivo .pcf al módulo <i>Vario 2D</i>	100
Figura 3.6: Ventana Direct Directional Variogram	101

Figura 3.7: Ingreso del archivo .var al módulo <i>Model</i>	102
Figura 3.8: Ventana <i>Geostatistical Wisard</i>	105
Figura 3.9: Ventana <i>Geostatistical Method Selection</i>	105

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 2.1: Principales fuentes de contaminación acústica.....	30
Diagrama 4.1: Histograma de datos de ruido diurno.	116
Diagrama 4.2: Diagrama de caja de ruido diurno	117
Diagrama 4.3: Histograma de datos de ruido diurno	127
Diagrama 4.4: Diagrama de caja de ruido diurno	128

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1.1: Estadio Rumiñahui sede del Club Independiente José Terán.....	6
Foto 2.1: Sonómetro.....	33
Foto 2.3: Exposímetro	35
Foto 3.1: Sonómetro Quest SundPro SP DL 1-1/3.....	81
Foto 3.2: Interfaces de Hardware	82
Foto 3.3: Pantalla protectora WS-7	82
Foto 3.4: Baterías alcalinas	82
Foto 3.5: Calibración de sonómetro en campo.....	93
Foto 3.6: Instalación trípode - sonómetro	94
Foto 3.7: Medición con G.P.S.....	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Tabla de bandas estandarizadas internacionalmente	21
Tabla 2.2: Nivel de presión sonora para algunas fuentes sonoras y ambientes acústicos típicos	26
Tabla 2.3: Fuentes de contaminación acústica a nivel mundial.....	30

Tabla 2.4: Efectos de nivel dB a una distancia de 1 m.....	36
Tabla 2.5: Índices de graduación de ruido para la inteligibilidad de la conversación	36
Tabla 2.6: Riesgo de daño auditivo en porcentaje	37
Tabla 2.7: Niveles de ruido permitidos y no permitidos en la fauna	41
Tabla 2.8: Efectos del ruido sobre la fauna	42
Tabla 2.9: Sectores a los que va dirigido la comunicación.....	44
Tabla 2.10: Niveles de confort acústico en el barómetro de sonido	45
Tabla 2.11: Niveles máximos de ruido según el uso del suelo para la normativa Chilena	52
Tabla 2.11: Niveles máximos de ruido según el uso del suelo para la normativa Española	53
Tabla 2.12: Límites máximos permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas	54
Tabla 2.13: Niveles máximos permitidos de ruido para fuentes fijas.....	56
Tabla 2.14: Tabla de coeficientes de variación	63
Tabla 3.1: Tolerancias permitidas para los distintos tipos o clases definidas por la IEC 61672-1-2002	80
Tabla 3.2: Condiciones de trabajo del sonómetro SoundPro SP DL 1-1/3.....	95
Tabla 4.1: Causas de aumento del parque automotor en las parroquias de San Rafael y Sangolquí	110
Tabla 4.2: Estadístico descriptivo para datos de ruido diurno (Promedio del nivel de presión sonora equivalente durante 10 minutos en dB(A)).....	115
Tabla 4.3: Parámetros del variograma teórico gaussiano	118
Tabla 4.4: Parámetros del variograma teórico gaussiano	119
Tabla 4.5: Parámetros del variograma teórico gaussiano	120
Tabla 4.6: Niveles de ruido diurno dB(A) en las parroquias de San Rafael y Sangolquí	123
Tabla 4.7: Estadísticos de los errores determinados mediante la validación cruzada para los datos de ruido diurno dB(A)	124
Tabla 4.8: Tabla de validación del modelo de ruido diurno dB(A)	125

Tabla 4.9: Toma de datos de ruido diurno dB(A) en lugares aleatorios	126
Tabla 4.10: Estadístico descriptivo para datos de ruido nocturno (Promedio del nivel de presión sonora equivalente durante 10 minutos en dB(A))	126
Tabla 4.11: Parámetros del variograma teórico gaussiano	129
Tabla 4.12: Parámetros del variograma teórico gaussiano	130
Tabla 4.13: Parámetros del variograma teórico gaussiano	131
Tabla 4.14: Niveles de ruido nocturno dB(A) en la parroquia de San Rafael	134
Tabla 4.15: Estadísticos de los errores determinados mediante la validación cruzada para los datos de ruido nocturno dB(A).	135
Tabla 4.16: Tabla de validación del modelo de ruido nocturno dB(A)	136
Tabla 5.1: Niveles de ruido ambiental dB(A) diurno por usos de suelo en San Rafael y Sangolquí	140
Tabla 5.2: Niveles de ruido ambiental dB(A) nocturno por uso de suelo en San Rafael	141

ANEXOS

1. ANEXO A: MANUAL TÉCNICO PARA EL MANEJO DEL SONÓMETRO QUEST SOUNDPRO SP DL 1-1/3 Y MANEJO DEL SOFTWARE "LAUCH SES TO XLS.EXE" PARA LA CONVERSACIÓN DE ARCHIVOS NATIVOS .SES A .XLS	148
--	-----

RESUMEN

En el cantón Rumiñahui no se han realizado mapas de predicción de ruido que logren identificar los niveles de ruido a los que están expuestos la población en general. Las parroquias de San Rafael y Sangolquí son consideradas como ciudades satélites de la ciudad de Quito, lo que provoca un serio congestionamiento vehicular en horas pico. A ello se debe considerar que por las vías de las parroquias de San Rafael y Sangolquí transitan maquinaria de construcción que se dirigen a la región Sierra o Costa del nuestro país lo que influyen directamente en los niveles de ruido.

Estos aspectos no son los únicos a considerar en la presente investigación, el crecimiento descontrolado y el no contar con un ordenamiento territorial adecuado ha provocado que las parroquias se desarrollen sin respetar los respectivos usos de suelo.

La normativa vigente que controla los niveles de ruido se relacionan a niveles de ruido de fuente fija y no consideran en su normativa el ruido ambiental que es clave para la investigación.

La utilización de técnicas geoestadísticas permite realizar una predicción válida de los niveles de ruido en toda la zona de estudio que servirá de base para futuros estudios y medidas de mitigación para contrarrestar los niveles de ruido en exceso por parte de la autoridad competente.

En el Capítulo I, se identifica la problemática de las parroquias de San Rafael y Sangolquí, que se encuentran expuestas a niveles de ruido en exceso así como los antecedentes del proyecto, la justificación, los objetivos generales y específicos que se buscan y las metas que se requiere obtener con la presente investigación.

En el Capítulo II, se detalla de manera general el marco teórico acerca del ruido, medidas de mitigación, normativa vigente y técnicas geoestadísticas, tomando en cuenta conceptos y tópicos que van a estar dentro del tema a tratarse y que han servido para el desarrollo del proyecto de investigación.

En el Capítulo III, se describe las zonas en las cuales se van a realizar las mediciones ruido diurno y nocturno, así como el método de medición aplicarse y el equipo a utilizarse. Se detalla como se realizó el trabajo en campo para la recopilación de datos de ruido diurno como nocturno así como la metodología para determinar los puntos de muestreo, finalmente se detalla el proceso de la información aplicando el *Software Variowin 2.21* que nos proporciona los parámetros del semivariograma teórico que nos servirán para la utilización del *Software Arc Gis 9.3/Geostatistical Analysis/Geostatistical Wisard* que empleando técnicas de *Kriging ordinario* nos dará como resultado el mapa de predicción.

En el Capítulo IV, se analizan las mediciones realizadas, a través del análisis exploratorio de datos de ruido diurno y nocturno para un obtener un diagnóstico inicial del comportamiento de datos. A continuación se realiza un análisis estructural de los datos para obtener los parámetros del modelo teórico de semivariograma que mas se ajuste al semivariograma experimenta diurno y nocturno. Con estos parámetros calculados y aplicando la técnica de *Kriging ordinario* obtenemos un mapa de predicción de ruido diurno y nocturno, que será evaluada a través de la validación cruzada y en campo respectivamente.

En el Capítulo 5, se detallan las conclusiones a las que se ha llegado con este trabajo de grado, así como las recomendaciones a tomar en cuenta para prevenir la contaminación por ruido que están sufriendo las parroquias de San Rafael y Sangolqui en horas picos, diurno y nocturno.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

Actualmente el Cantón Rumiñahui con una extensión de 134 km² es una de las regiones que ha experimentado un mayor crecimiento poblacional y urbano en el país. Según cifras publicadas por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) la población creció el 30% entre el 2001 y 2010 (de 65.882 personas en el 2001 a 85.852 personas en el 2011). En los últimos años se vive en el cantón, una alta expansión urbana como consecuencia de los vínculos que mantiene con Quito. El Gobierno de la Provincia de Pichincha, indicó que al día se realizan 50.265 viajes de vehículos livianos y 4.564 de buses, por las rutas que unen al Valle de los Chillos con el límite donde se aplica la medida de restricción vehicular pico y placa en Quito.

La contaminación acústica (o por ruido) es resultado directo y no deseado del crecimiento del Cantón Rumiñahui y se constituye en un problema que afecta, en especial, a los habitantes de las parroquias de Sangolquí y San Rafael como consecuencia del mayor tráfico vehicular (principal fuente de ruido) que soportan sus calles, además concentran la mayor parte de servicios: municipio, centros comerciales, mercados, dirección de tránsito, bomberos, policía, centros educativos, parques y áreas de recreación, centros de diversión nocturna entre otros.

La protección del ruido supone un reto para las autoridades locales a fin de garantizar la calidad de vida de los ciudadanos, como reza La Constitución Política de la República del Ecuador en el Título II, Capítulo segundo, Artículo 14, Capítulo sexto, Artículo 66, Literal 27:

“Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumakkawsay. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la

conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados. El derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza”.

Así mismo el Título VII del Régimen del Buen Vivir, Capítulo segundo, Artículo 396:

“El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. En caso de duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el Estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas. La responsabilidad por daños ambientales es objetiva. Todo daño al ambiente, además de las sanciones correspondientes, implicará también la obligación de restaurar integralmente los ecosistemas e indemnizar a las personas y comunidades afectadas. Cada uno de los actores de los procesos de producción, distribución, comercialización y uso de bienes o servicios asumirá la responsabilidad directa de prevenir cualquier impacto ambiental, de mitigar y reparar los daños que ha causado, y de mantener un sistema de control ambiental permanente. Las acciones legales para perseguir y sancionar por daños ambientales serán imprescriptibles”.

En cuanto a la normativa existen 2 tipos de legislación: en primer lugar, la legislación laboral, que protege la salud del trabajador regulando los niveles de exposición al ruido y fijando medidas de prevención. Luego existen las leyes y ordenanzas ambientales que protegen a la comunidad, con límites muy inferiores a los laborales porque aparte de la salud auditiva contempla la tranquilidad y el descanso de los habitantes, como la Ordenanza de Gestión Ambiental del Gobierno Municipal del Cantón Rumiñahui, en el Título III, Capítulo I, en su artículo 66: Niveles máximos de ruido permisibles según uso del suelo para fuentes fijas.

La realización de mediciones y evaluaciones en el terreno, mapas de niveles de ruido, el cálculo de los niveles esperados de ruido y proponer medidas de mitigación cobran enorme importancia y alcance para la autoridad ambiental, porque le permitirá tratar este problema en su real dimensión y de esta manera garantizar el confort acústico de los habitantes.

Mediante ciencias como la geoestadística se puede estimar, predecir y simular fenómenos espaciales (Myers, 1987)¹. Esta rama de la estadística ofrece una manera de describir la continuidad espacial, que es un rasgo distintivo esencial de muchos fenómenos naturales, y proporciona adaptaciones de las técnicas clásicas de regresión para tomar ventajas de esta continuidad. El ruido nos ofrece una continuidad espacial por lo que es factible la presente investigación aplicando técnicas geoestadísticas como la predicción.

La geoestadística opera básicamente en tres etapas para poder realizar predicciones de variables. La primera es el análisis exploratorio de datos. En la segunda fase es el análisis estructural de los datos para determinar la correlación entre puntos. En la tercera fase se hace predicción en puntos de la región no muestreados mediante la técnica Kriging, para lo cual se requiere tomar como base el análisis exploratorio de datos y el análisis estructural hecho en la primera y segunda instancia con el objetivo de hacer un mapa de distribución de la variable de interés.

1.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La Cabecera Cantonal del Cantón Rumiñahui, Sangolquí, es el corazón de la ciudad donde se desenvuelven las principales actividades administrativas, deportivas, educativas, comerciales, industriales y de gastronomía; no solo de

¹MYERS, D.E, Optimization of Sampling Locations for variogram calculations, Water resources research. D. E., 1987, p. 23, 283.

los habitantes del Valle de Los Chillos sino también los frecuentes visitantes de Quito.

Destacan servicios públicos como el Municipio con sus diferentes direcciones, Jefatura de Tránsito, Cuerpo de Bomberos. Servicios educativos como la Escuela Politécnica del Ejército y Colegio Nacional Juan de Salinas. Servicios médicos como el Hospital Cantonal de Sangolquí, centros comerciales como el RiverMall, mercados ubicados en el centro y escenarios deportivos como el Estadio de Rumiñahui (ver Foto 1.1), entre muchos otros.



Foto 1.1: Estadio Rumiñahui sede del Club Independiente José Terán.

Fecha: 05-11-2011, Fuente: Autores.

La parroquia urbana de San Rafael es una zona donde se concentran principalmente actividades comerciales y de esparcimiento, siendo también el acceso principal del Valle de los Chillos por la Avenida General Rumiñahui. Se destaca el Centro Comercial San Luis que se ha convertido en un polo de desarrollo comercial de la región.

El ruido por la actividad humana que se genera en estas zonas, incluido el ruido de los medios de transportes y la industria se conoce como ruido comunitario o ruido ambiental.

El ruido ambiental en general, molesta al receptor, ya que produce un sentimiento de displacer, que afecta adversamente al individuo y, por tanto, su calidad de vida. Esto se contrapone con la definición de salud que da la Organización Mundial de la Salud (OMS), y que es el estado de completo bienestar físico, mental y social. La OMS identifica los siguientes efectos adversos sobre la salud de la población expuesta al ruido: interferencia en la comunicación, alteraciones en el descanso y en el sueño, efectos psicológicos y fisiológicos, deterioro en el desempeño de tareas y cambios en el comportamiento social, llegando incluso al deterioro irreversible del sistema auditivo².

1.3. JUSTIFICACIÓN

Se puede considerar a la contaminación por ruido a aquella que distorsiona las condiciones normales del ambiente, la misma que no respeta los límites permisibles de ruido estipulados en el T.U.L.A.S como en Ordenanzas Municipales, es por ello que el Ilustre Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, según Ordenanza Metropolitana No.0123-2004, establece que³: *“Ruido: Es todo sonido indeseable que molesta o perjudica a las personas”*, de acuerdo al Profesor Raes J.: *“El ruido se puede definir como un sonido no deseado o un sonido molesto e intempestivo que puede producir efectos fisiológicos y psicológicos, no deseados en una personas o en un grupo”*; de acuerdo a estas definiciones podemos considerar a la contaminación por ruido como un agente perturbador de la vida ciudadana. Muchas de las actividades diarias y productivas, comprenden procesos que en mayor o menor cantidad liberan energía de distintas formas. El ruido es una manifestación de la energía liberada, que puede dañar el oído humano y afectar el estado psicológico de las personas y son las circunstancias subjetivas de los receptores las que determinan la calificación de ruido. Por ello, mediante procedimientos técnicos y estadísticos, operando sobre algunas de las características de los individuos, se puede fijar el nivel de ruido deseable en una localización definida, en

²<http://www.cic.gba.gov.ar/lal/inv/6.pdf>

³ILUSTRE MUNICIPIO DEL D.M.Q, Ordenanza Metropolitana de Quito No.0123, Art.4, 2004

circunstancias determinadas. De forma análoga, se pueden deducir los intervalos fuera de cuyos límites se producen sensaciones de molestias o incomodidad y también los niveles por encima de los cuales se producen trastornos en el sistema auditivo, y sus consecuencias en la salud de los individuos.

El ruido en si puede tener diversos efectos que dependen de su tipo, duración y momento de incidencia, así como de la sensibilidad del receptor. Investigaciones científicas recientes han demostrado hasta qué punto el ruido del tráfico diurno y nocturno, puede tener efectos sobre la salud perturbando el sueño y fomentando enfermedades psicosomáticas, por tanto el problema de la contaminación acústica debe afrontarse decididamente y valorarse los riesgos que comportan sus efectos sobre la salud humana⁴.

Considerando que el ruido ambiental es un problema mundial, se requiere un nivel de comprensión apropiado de la afectación que se produce en la región de estudio.

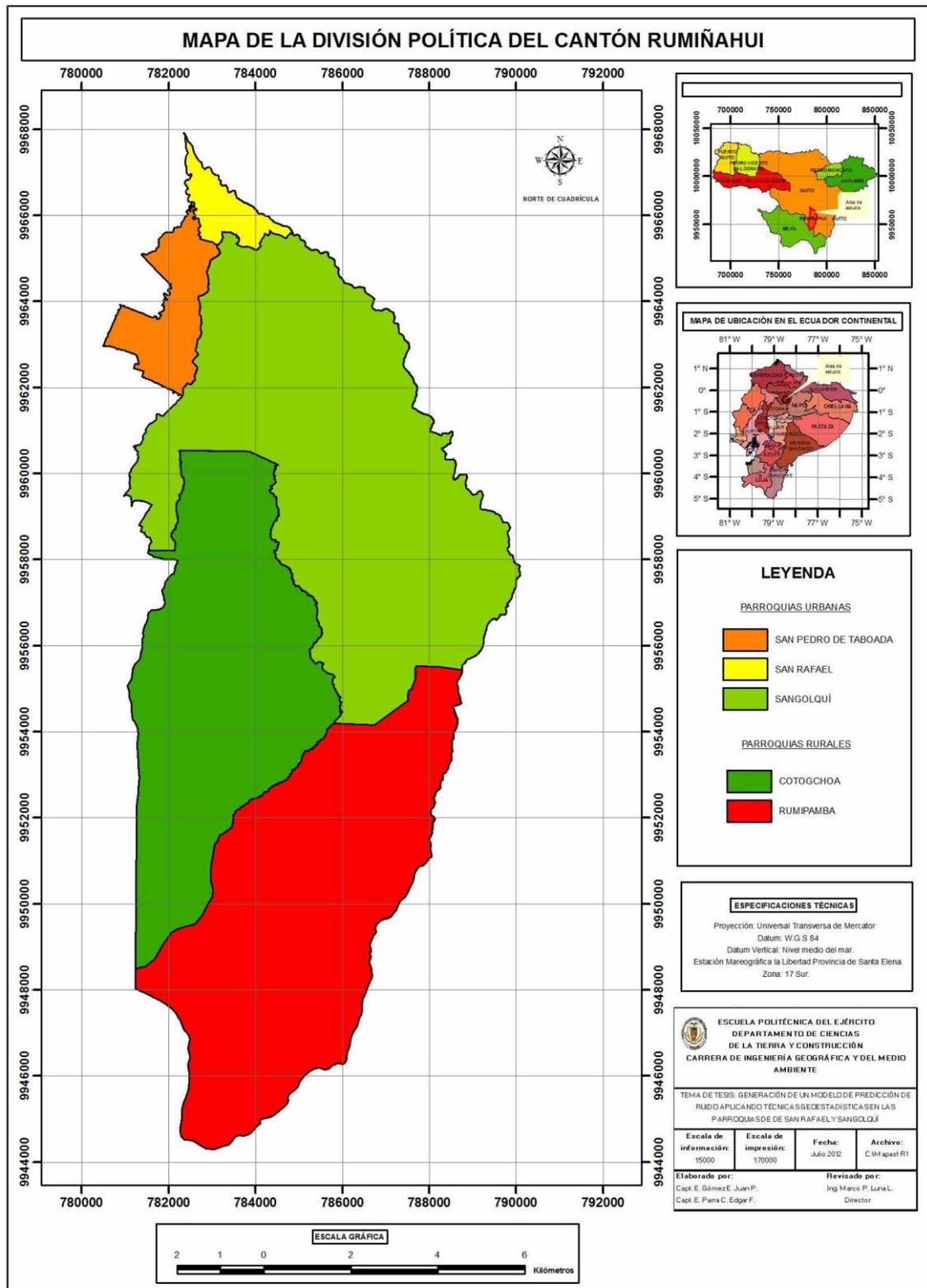
La realización de un modelo empleando técnicas geoestadísticas permite disponer de un diagnóstico del ruido y será útil a la Dirección de Protección Ambiental, para diseñar y desarrollar programas y proyectos para mitigar la contaminación acústica de las parroquias de Sangolquí y San Rafael.

1.4. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de influencia se encuentra en:

Provincia:	Pichincha.
Cantón:	Rumiñahui.
Parroquias urbanas:	Sangolquí. San Rafael.

⁴ALFONSO DE ESTEBAN ALONSO, Contaminación acústica y salud, 1992, p.74.



Mapa 1.1: Mapa Político del Cantón Rumiñahui.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

Realizar un modelo de predicción de ruido aplicando técnicas geoestadísticas en las parroquias de San Rafael y Sangolquí.

1.5.2. Objetivos específicos

1. Determinar los puntos de muestreo en la región de estudio.
2. Medir los niveles de intensidad sonora en los puntos de muestreo.
3. Examinar la calidad de los datos obtenidos mediante un estudio exploratorio.
4. Aplicar un modelo de semivariograma de acuerdo a los patrones de las estructuras espaciales.
5. Aplicar un modelo de interpolación espacial para predecir los niveles de intensidad sonora.
6. Validar el modelo de interpolación en el terreno.
7. Proponer medidas para mitigar la contaminación por ruido en la región de estudio.

1.6. METAS

- Modelo de ruido diurno de las parroquias San Rafael y Sangolquí.
- Modelo de ruido nocturno de la parroquia San Rafael.

CAPITULO 2

MARCO TEORICO

2.1. SONIDO

2.1.1. Definición de sonido

El término sonido se usa en dos formas diferentes:

Los fisiólogos lo definen en términos de las sensaciones auditivas producidas por perturbaciones longitudinales en el aire⁵, para ellos si se produjera una pequeña explosión a cientos de kilómetros de un ser viviente, no existe sonido pues requiere que alguien lo escuche⁶.

La física, por otro lado, lo define como una forma de energía que se propaga en forma de ondas y que requiere de dos componentes para que se produzca: Una fuente mecánica de vibración y un medio elástico a través del cual se pueda propagar la perturbación.

Las vibraciones provienen de objetos materiales por ejemplo: las cuerdas de una guitarra, la lengüeta vibratoria de un saxofón, o las cuerdas bucales en los humanos.

Los medios en los cuales se propaga la perturbación son cualquier sustancia elástica.

La elasticidad es la propiedad que tiene un material para cambiar de forma en respuesta a una fuerza aplicada, para después regresar a su forma inicial cuando se retira la fuerza de distorsión. En relación con los sólidos y los

^{5,6} TIPPENS, Paul E, Física. Conceptos y aplicaciones , tercera edición, McGraw-Hill 1991, p. 455, p.466

líquidos, el aire es el peor conductor de sonido. Se puede escuchar el sonido de un tren lejano con más claridad si se coloca el oído sobre la riel⁷.

2.1.2. Descripción de una onda

Un vaivén tanto en el espacio como en el tiempo es una onda, la cual se extiende de un lugar a otro. La luz y el sonido son vibraciones (oscilaciones en el tiempo) que se propagan en el espacio en forma de ondas⁸, la luz a diferencia del sonido, se puede propagar en el vacío mientras que el sonido necesariamente requiere de un medio elástico.

El movimiento oscilatorio (movimiento vibratorio de ir y venir) de un péndulo se denomina movimiento armónico simple el cual se representa por una curva especial llamada senoide o senoide, la misma que nos permite describir gráficamente la propagación de una onda. A los puntos más altos del senoide se los conoce como crestas y los puntos más bajos valles como se observa en el gráfico 2.1:

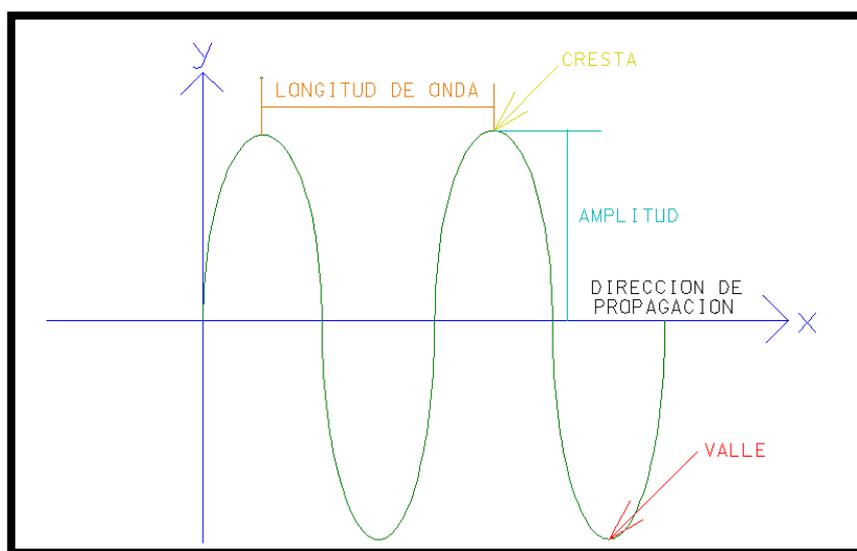


Gráfico 2.1: Elementos de una curva senoide.

^{7,8} HEWITT, Paul G, Física conceptual, décima edición, Pearson Educación 2007, p. 382, p. 384.

2.1.3. Amplitud de onda

Es la distancia desde el centro hasta una cresta o valle, empleando otros términos, sería el desplazamiento máximo con respecto al equilibrio (ver gráfico 2.1).

2.1.4. Longitud de onda

La longitud de onda (λ) es la distancia entre dos crestas adyacentes o valles (ver gráfico 2.1), las longitudes de onda de las olas en una playa se miden en metros; las ondulaciones de un estanque en centímetros y las de la luz en milésimas de millones de metro (nanómetro)⁹.

2.1.5. Frecuencia

La frecuencia (f) es el número de oscilaciones por unidad de tiempo, suele definirse la unidad de frecuencia como las vibraciones que se producen por cada segundo; en el sistema internacional (SI) la unidad de frecuencia es el *hertz* (Hz) en honor a Heinrich Hertz quien demostró la existencia de las ondas de radio en 1886¹⁰.

$$1 \text{ hz} = \frac{1 \text{ ciclo}}{s} = \frac{1}{s}$$

Se relaciona nuestra impresión subjetiva de la frecuencia del sonido con la palabra "altura". La frecuencia corresponde a la altura: un sonido alto (o agudo) tiene una alta frecuencia de vibración; en tanto que sonido bajo (o grave) tiene una baja frecuencia de vibración¹¹.

La frecuencia tiene una relación inversa con el concepto de longitud de onda, cuando la frecuencia es alta tiene menor longitud de onda y viceversa como se observa en el gráfico 2.2.

^{9,10,11} HEWITT, Paul G, Física conceptual, décima edición, Pearson Educación 2007, p. 364, p. 365, p. 380

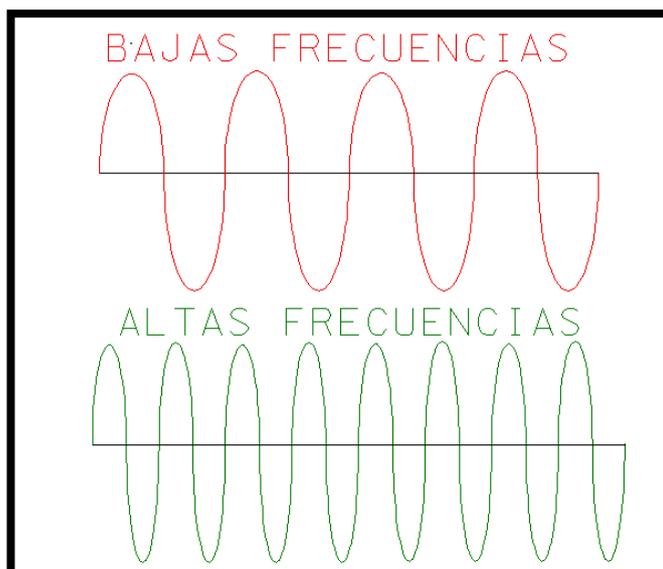


Gráfico 2.2: Comparativa de dos funciones periódicas de distinta frecuencia.

El oído de una persona joven es capaz de captar normalmente alturas que corresponden al intervalo de frecuencias de entre 20 y 20.000 hertz. Conforme vamos madurando, se contraen los límites de este intervalo de audición, en especial en el extremo de la frecuencia. Las ondas sonoras cuyas frecuencias son menores a 20 *hertz* son infrasónicas, y aquellas cuyas frecuencias son mayores a 20.000 *hertz* se llaman ultrasónicas¹².

2.1.6. Energía sonora

Es la energía que transmite o transportan las ondas sonoras. Procede de la energía vibracional de la fuente y se propaga a las partículas del medio que atraviesan en forma de energía cinética y energía potencial. Por ejemplo, un sonido muy intenso puede hacer vibrar los cristales de una ventana o incluso romperlos.

2.1.7. Trabajo

Trabajo es la unión de 2 componentes: la primera, la aplicación de una fuerza que es generada por la fuente mecánica de vibración; y la segunda, el desplazamiento o distancia a lo largo del movimiento de la onda, de manera que se define como el producto de la fuerza por la distancia

¹² HEWITT, Paul G, Física conceptual, décima edición, Pearson Educación 2007, p. 380

La unidad de medida del trabajo se combina mediante una unidad de fuerza, *Newton*(N) por una unidad de distancia, *Metros* (m), también conocido como *Joule* (J). Se realiza 1 *Joule* de trabajo cuando se aplica 1 *Newton* de fuerza durante la distancia de 1 *Metro*.

2.1.8. Potencia

Es el trabajo efectuado por las ondas sonoras en un intervalo de tiempo. La unidad de potencia es el *Joule* por *Segundo* (J/s) también conocido como *Watt* (*Vatio* en español).

2.1.9. Intensidad sonora

La intensidad del sonido (o sonora) es la potencia transferida por una onda sonora a través de la unidad de área normal a la dirección de propagación.

$$Intensidad = \frac{Potencia}{Area}$$

La unidad de intensidad más usual es el $watt/cm^2$, pero debido a que la rapidez del flujo de energía de las ondas sonoras es extremadamente pequeño también se emplea el *microwatt*(μW).

$$1 \mu W = 10^{-6} W$$

Cuando el ser humano califica el volumen que se genera de una fuente, está asociando la intensidad sonora que se produce en dicha fuente.

2.1.10. El umbral de audición

El umbral de audición, es la intensidad mínima de sonido capaz de impresionar al oído humano. En público joven y sin problemas auditivos se encuentra en $10^{-10} \mu W/cm^2$ para una frecuencia de 1000 Hz.

2.1.11. El umbral del dolor

Como su nombre lo indica, es la intensidad de sonido que causa dolor al oído humano. En público joven y sin problemas auditivos se sitúa en $100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ para una frecuencia de 1000 Hz.

2.1.12. El decibel

Cuando se compara la intensidad de dos sonidos y se afirma que un sonido es diez veces mayor que la intensidad de otro, se dice que la razón de intensidad es un *bel* (B)¹³.

De esta manera cuando se comparan las intensidades de dos sonidos, se refiere a una diferencia en los niveles de intensidad dados por:

$$B = \log_{10} \frac{I_1}{I_0}$$

Donde,

I_1 , Intensidad sonora a estudiar.

I_0 , Intensidad inicial.

En la práctica, un *bel* resulta ser demasiado grande; para obtener una unidad más útil se definió un *decibel* (dB) como la décima parte de un bel.

$$dB = 10 \log_{10} \frac{I_1}{I_0}$$

Donde,

I_1 , Intensidad sonora a estudiar.

I_0 , Intensidad inicial.

Gracias a la notación logarítmica del *decibel*, ha sido posible reducir el intervalo de intensidades; sin embargo, debe recordarse que la escala no es lineal sino logarítmica. Un sonido de 40 dB es mucho mayor que el doble de intensidad de un sonido de 20 dB¹⁴.

^{13,14}TIPPENS, Paul E, Física. Conceptos y aplicaciones, tercera edición, McGraw-Hill 1991, p. 465, p. 466

Para fines prácticos de medición se emplean los términos: intensidad sonora, potencia sonora y presión sonora, todos ellos expresados en *decibeles* (dB).

Para medir el nivel de intensidad sonora se determinó el cero estándar de intensidad I_0 el valor de $10^{-10} \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (o $10^{-12} \text{W}/\text{m}^2$) correspondiente al umbral de audición, como patrón para comparar todas las intensidades, de manera que la Intensidad sonora se determina de la siguiente manera:

$$L_I = 10 \log_{10} \frac{I_1}{10^{-12}}$$

Donde,

L_I , Nivel de intensidad sonora en dB.

I_1 , Intensidad sonora medida en W/m^2 .

Para determinar la potencia sonora se determinó el cero estándar de potencia sonora W_0 el valor de 10^{-12}W (algunos autores consideran W_0 el valor de 10^{-13}W) de manera que el nivel de potencia sonora se determina de la siguiente manera:

$$L_w = 10 \log_{10} \frac{W_1}{10^{-12}}$$

Donde,

L_w , Nivel de potencia sonora en dB.

W_1 , Potencia sonora medida en W.

Debido a que el cero estándar de referencia es el mismo en el nivel de intensidad sonora y de potencia sonora, algunos autores se refieren en ambos casos de la misma manera y han generalizado con la abreviatura L_w considerando el valor de W_1 de $10^{-12} \text{W}/\text{m}^2$.

Por otro lado se sabe que el sonido produce un aumento de presión en el aire. La presión atmosférica a nivel del mar es aproximadamente 10^5 Pascales (Pa). Si comparamos el aumento de presión existente en el umbral de audición veremos que se encuentra en los 20 micropascales (μPa), es decir un aumento de la presión atmosférica normal de 1/5.000.000.000.

Por convención se adoptó el valor de 20 μPa (20×10^{-6} Pa) como unidad de referencia para medir físicamente al sonido en unidades de presión sonora L_p , de manera que el nivel de presión sonora se determina por:

$$L_p = 20 \log_{10} \frac{P_1}{20 \times 10^{-6}}$$

Donde,

L_p , Nivel de presión sonora en dB.

P_1 , Presión del sonido medido en Pa.

2.2. CARACTERIZACIÓN DEL RUIDO

2.2.1. Definición de ruido

Las personas comúnmente empleamos el término ruido a la percepción de sonidos que nos parecen molestos, desde este punto de vista podemos asociar al ruido como una vibración irregular del tímpano, producida a su vez por una vibración irregular en nuestro entorno, lo que quiere decir que la mayor parte de lo que escuchamos es ruido. El impacto de un objeto que cae, un portazo, el rugir de una motocicleta y la mayor parte de los sonidos del tráfico ciudadano.

También se emplea el término ruido para hacer valoraciones de estética musical. En este caso algunos consideran que la música contemporánea y de otras culturas es ruido, ya que el sonido de la música tiene tonos periódicos o

notas musicales, criterio que no es compartido por autores contemporáneos y público joven¹⁵.

Tanto para ambos casos la frontera para definir un ruido es tenue y subjetiva.

Para los fines de contaminación acústica vamos a definir al ruido como un sonido, producido por una o varias fuentes, y que en términos de frecuencia, intensidad sonora y tiempo de exposición puede afectar desfavorablemente a la salud humana, causando daños fisiológicos y/o psicológicos.

2.2.2. Ruido ocupacional

Engloba todos los ruidos a los que está expuesto un trabajador en su jornada laboral, el cual está confinado en el interior de las actividades que lo generan, siendo los principales receptores los trabajadores que operan o trabajan en dichos lugares.

En 1999 la Organización Mundial de la Salud (OMS) en su Guidelines for Community Noise, declaró que “El deterioro de la audición inducido por ruido es el riesgo ocupacional más prevalente e irreversible en el mundo, y se estima que 120 millones de personas alrededor del mundo tienen dificultades de audición incapacitantes”.¹⁶

2.2.3. Ruido ambiental

También denominado ruido residencial, urbano, comunal o doméstico, es el ruido emitido por todas las fuentes en el exterior de las áreas de trabajo. Las principales fuentes son: el tránsito automotor y aéreo, la construcción, obras públicas y vecindario.

El ruido característico del vecindario proviene de locales, tales como restaurantes, cafeterías, discotecas; música en vivo o grabada; competencias

¹⁵HEWITT, Paul G, Física conceptual, décima edición, Pearson Educación 2007, p. 398

¹⁶www.cienciaytrabajo.cl/pdfs/20/pagina%2058.pdf

deportivas tales como deportes motorizados; áreas de juegos, estacionamientos y animales domésticos, como el ladrido de los perros.

Muchos países han reglamentado el ruido urbano del tránsito de aviones y autos y maquinaria de construcción, a través de normas de emisión y reglamentos para las propiedades acústicas de los edificios. Pero pocos países tienen reglamentos para el ruido urbano del vecindario, probablemente debido a la falta de métodos para definirlo y medirlo y la dificultad de controlarlo.

En las grandes ciudades de todo el mundo, la población está cada vez más expuesta al ruido urbano debido a las fuentes mencionadas y sus efectos sobre la salud se consideran un problema cada vez más importante.

Los efectos específicos que se deben considerar para establecer guías para el ruido urbano son la interferencia con la comunicación, pérdida de audición, trastorno del sueño, problemas cardiovasculares y psicofisiológicos, reducción del rendimiento, molestia y efectos sobre el comportamiento social.

Desde 1980, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha abordado el problema del ruido urbano. Las guías para el ruido urbano relacionadas con la salud pueden servir de base para preparar normas teniendo como referencia el manejo del ruido. Los aspectos claves del manejo del ruido incluyen las opciones para reducirlo, modelos de predicción y evaluación del control en la fuente, normas de emisión de ruidos para fuentes existentes y planificadas.

En la Unión Europea, alrededor de 40% de la población están expuestos al ruido del tránsito. Si se considera la exposición total al ruido del tránsito se puede calcular que aproximadamente la mitad de los europeos vive en zonas de gran contaminación sonora. Más de 30% de la población están expuestos durante la noche a niveles de presión sonora por encima de los aceptables, lo que trastorna el sueño. El problema también es grave en ciudades de países en desarrollo y se debe principalmente al tránsito¹⁷.

¹⁷O.M.S , Guía para el ruido urbano, <http://www.bvsde.paho.org/bvsci/e/fulltext/ruido/ruido2.pdf>

2.2.4. Espectro del ruido

Una fuente de sonido emite energía acústica en la región de 50 a 10.000 Hz y para realizar el análisis del ruido acústico, donde se estudia el índice de molestias a un observador humano, debido al amplio rango de variación y a la sensibilidad del mecanismo de audición humano, se dividió el espectro en proporciones de frecuencias denominadas bandas de octava. Sin que importe cuales fueran las frecuencias, la frecuencia de un sonido determinara la altura del sonido percibida por un auditor y una proporción de dos veces una frecuencia, se escucha como un cambio de altura de una octava.

La octava es un intervalo de frecuencias para el oído, la tabla 2.1 muestra las bandas de octava de estándares internacionales con sus límites de banda más bajos y más altos, y el centro de frecuencia correspondiente.

Tabla 2.1: Tabla de bandas estandarizadas internacionalmente.

Límite más bajo de banda (Hz)	Frecuencia de centro (Hz)	Límite más alto de banda (Hz)
22	31,5	44
44	63	88
88	125	177
177	250	254
254	500	707
707	1.000	1.414
1.414	2.000	2.828
2.828	4.000	5.656
5.656	8.000	11.312
11.312	16.000	22.624

A continuación en el gráfico 2.3 se muestra 8 mediciones realizadas simultáneamente en las diferentes bandas de octava para describir el espectro de ruido de una muestra.

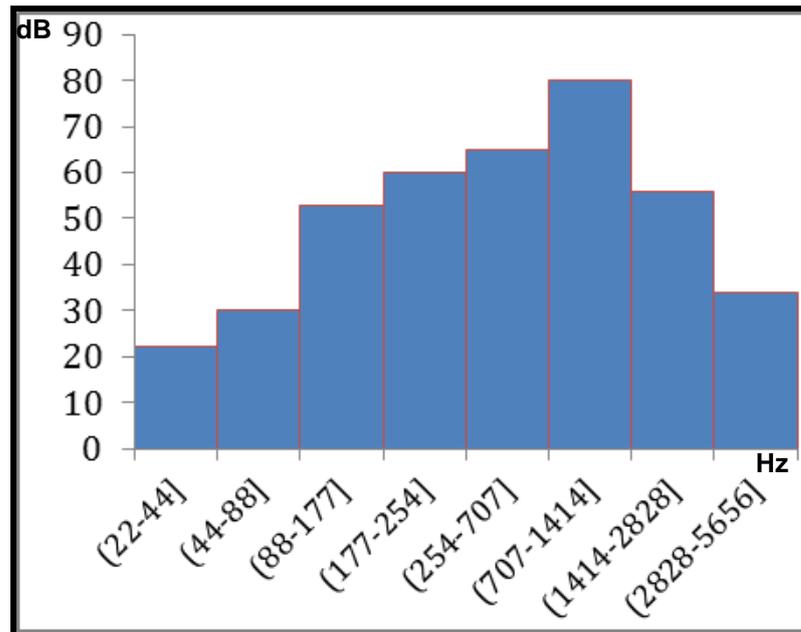


Gráfico 2.3: Niveles sonoros en bandas de octava de frecuencia.

2.2.5. Sonoridad

Es una medida subjetiva de la intensidad con la que el sonido es percibido por el oído humano.

Como la sonoridad no es una magnitud absoluta, lo que se hace es medir el nivel de sonoridad, es decir, determinar cómo es de fuerte un sonido en relación con otro.

El nivel de intensidad sonora tiene la ventaja de ser una medida objetiva y bastante cómoda de la intensidad del sonido, pero tiene la desventaja de que está lejos de representar con precisión lo que realmente se percibe. Esto se debe a que la sensibilidad del oído depende fuertemente de la frecuencia. En efecto, mientras que un sonido de 1 kHz y 0 dB ya es audible, es necesario llegar a los 37 dB para poder escuchar un tono de 100 Hz, y lo mismo es válido para sonidos de más de 16 kHz¹⁸.

Para definir el nivel de sonoridad se estableció el *fon*. El *fon* (o fonio) está definido arbitrariamente con el mismo valor de la intensidad sonora a una

¹⁸MIRAYA, Federico, <http://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/niveles.htm>

frecuencia de 1 kHz, sin embargo el valor de sonoridad (percepción de la intensidad de un sonido por el oído humano) varía a diferentes frecuencias e intensidades. Por ejemplo: el valor de 0 *Fon* coincide con el valor de 0 dB a una frecuencia de 1 kHz, pero también 0 *Fon* coincide con el valor de 37 dB a una frecuencia de 100 Hz, como se muestra en el gráfico 2.4:

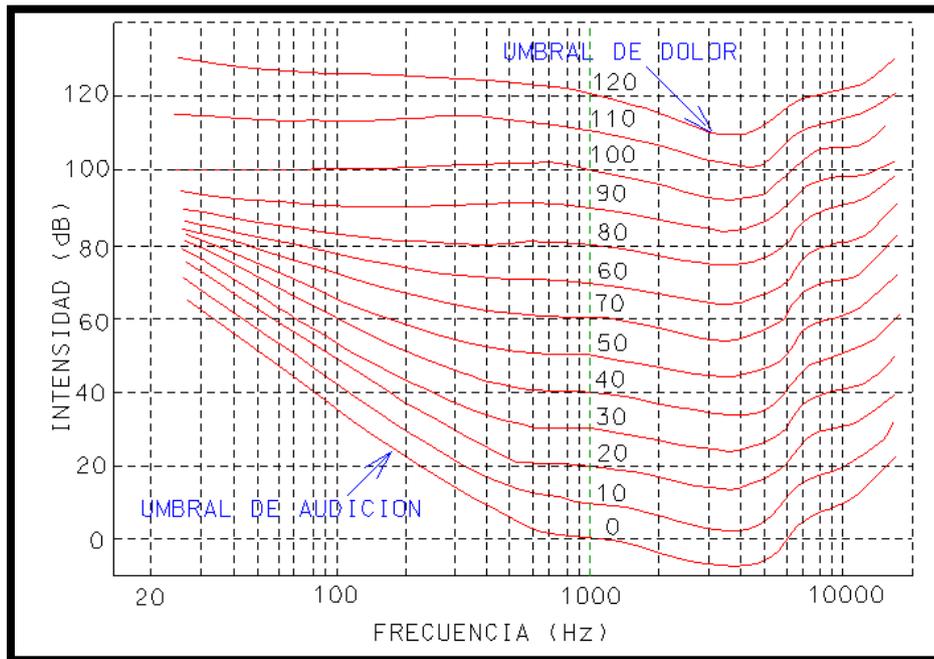


Gráfico 2.4: Curvas de sonoridad de Munson y Fletcher

Para determinar el nivel de intensidad se establecieron curvas isofónicas. Las curvas isofónicas son curvas de igual sonoridad. Estas curvas calculan la relación existente entre la frecuencia y la intensidad de dos sonidos para que éstos sean percibidos como igual de fuertes. Todos los puntos sobre una misma curva isofónica tienen la misma sonoridad.

2.2.6. Curvas de ponderación

Al realizar las curvas isofónicas, Fletcher y Munson en el año de 1933, observaron una dependencia de la sonoridad con la frecuencia. En las curvas

isofónicas, en bajas y en muy altas frecuencias, se incrementa la intensidad del sonido, mientras en frecuencias medias la intensidad se mantiene.

Se pensó que utilizando una red de filtrado (o ponderación de frecuencia) adecuada sería posible medir esa sensación en forma objetiva. Esta red de filtrado tendría que atenuar las bajas y las muy altas frecuencias, dejando las medias casi inalteradas. Por lo tanto parecía razonable diseñar tres redes de ponderación de frecuencia correspondientes a niveles de alrededor de 40 fon, 70 fon y 100 fon llamadas A, B y C respectivamente.

La red de ponderación A se aplicaría a los sonidos de bajo nivel, la red B a los de nivel medio y la C a los de nivel elevado como se observa en el gráfico 2.5. El resultado de una medición efectuada con la red de ponderación A se expresa en *decibeles A* abreviado dba o dB(A), y análogamente para las otras.

Como el dB se determina a partir de mediciones físicas, las mismas se expresan de la siguiente manera: Nivel de potencia sonora ponderada en A (L_{WA}) y Nivel de presión sonora ponderada en A (L_{pA}).

Las curvas de sonoridad de Fletcher y Munson (al igual que las finalmente normalizadas por la ISO) son promedios estadísticos. Esto significa que los valores obtenidos son aplicables a poblaciones no a individuos específicos. Así mismo las curvas isofónicas fueron obtenidas para tonos puros, es decir sonidos de una sola frecuencia, los cuales son muy raros en la naturaleza. La mayoría de los sonidos de la vida diaria, tales como el ruido ambiente, la música o la palabra, contienen muchas frecuencias simultáneamente.

Para el estudio de la contaminación acústica se generalizó el uso de la ponderación A.

La razón principal es que diversos estudios han mostrado una buena correlación entre el nivel sonoro A y el daño auditivo, así como con la

interferencia a la palabra. Siendo el nivel sonoro con ponderación A la mejor medida disponible para evaluar problemas de ruido¹⁹.

La ponderación B se usa para niveles intermedios y es similar a la curva A, excepto porque la ponderación de bajos es mucho menor, estudios recientes demuestran que es la mejor ponderación para usar en los niveles de escucha musical²⁰.

La ponderación C es utilizada para ruidos de intensidad elevada y extendida para la medición de ruidos graves.

Posteriormente se elaboró la curva de ponderación D que se utiliza generalmente y de manera casi exclusiva para estudiar el nivel de ruido generado por los aviones.

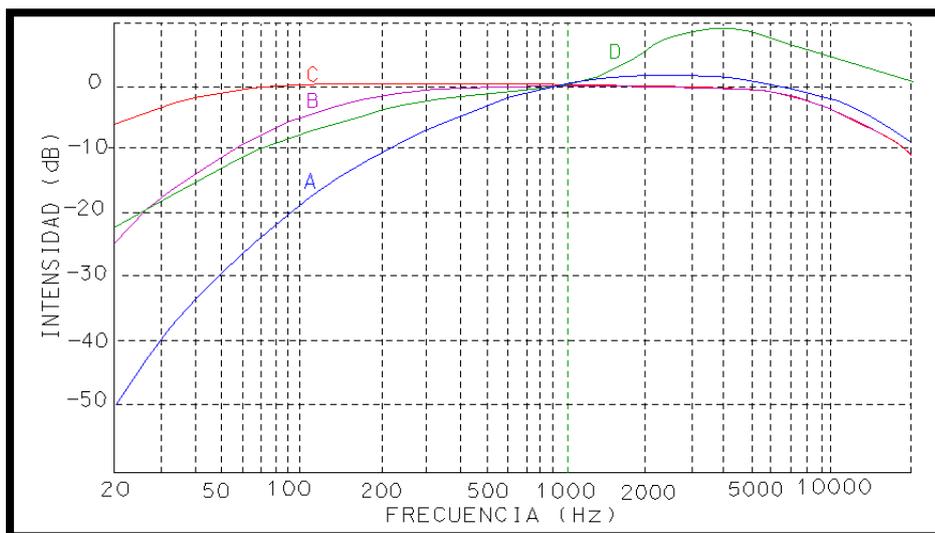


Gráfico 2.5: Curvas de ponderación A, B, C Y D.

A continuación en tabla 2.2, se proporciona diferentes valores de la presión sonora con ponderación A para algunas fuentes y ambientes acústicos típicos, medidas en decibeles.

¹⁹MIYARA, Federico, <http://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/niveles.htm>

²⁰<http://www.doctorproaudio.com/content.php?145-ponderaciones-weightings-frecuencia-ABC>

Tabla 2.2: Nivel de presión sonora para algunas fuentes sonoras y ambientes acústicos típicos²¹.

FUENTE	L_{pA} (dBA)
Umbral de dolor	120
Discoteca a todo volumen	110
Martillo neumático a 2 metros	105
Ambiente industrial ruidoso	90
Piano a 1 metro con fuerza media	80
Automóvil silencioso a 2 metros	70
Conversación normal	60
Ruido urbano de noche	50
Habitación interior (día)	40
Habitación interior (noche)	30
Estudio de grabación	20
Cámara sonoamortiguada	10
Umbral de audición a 1 kHz	0

2.2.7. El tiempo

La percepción de continuidad del sonido en el oído humano se debe a que el tiempo promedio de audición es más largo que el tiempo de ciclo acústico. De la misma manera para determinar los niveles de presión (o potencia sonora) de una fuente, los instrumentos de medición realizan un promedio durante un intervalo de tiempo. Generalmente los medidores incorporan opciones “Fast” o rápido y “Slow” o lento que corresponden a los tiempos promediados de 125 microsegundos (ms) y 1 segundo (s) respectivamente.

La respuesta “Slow” (1s) es considerablemente más grande que el tiempo promedio de audición, y es utilizada para obtener una lectura continua, cuando el nivel de sonido fluctúa rápidamente en promedio. La respuesta “Fast” es considerada que será de un orden similar al del sistema de audición humano

²¹Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, Dirección General de Carreteras, Reducción del ruido en el entorno de las carreteras, OCDE, Francia (1995).

(125 ms). Las lecturas del medidor utilizando “Fast” son comúnmente utilizadas para caracterizar los niveles máximos cuando fluctúa considerablemente la presión del sonido²².

2.2.8. Tipos de ruido

2.2.8.1. Ruido estable

Es aquel ruido que presenta fluctuaciones del nivel de presión sonora ponderada en A (L_{pA}) inferiores o iguales a 5 dB (A) lento, durante un período de observación de un minuto.

2.2.8.2. Ruido fluctuante

Es aquel ruido que presenta fluctuaciones del nivel de presión sonora ponderada en A (L_{pA}) superiores a 5 dB (A) lento, durante un período de observación de un minuto.

2.2.8.3. Ruido de impulso

Es aquel ruido cuyo nivel de presión sonora aumenta bruscamente durante un impulso. La duración de este impulso es breve en comparación con el tiempo que transcurre entre un impulso y otro.

En la práctica el ruido se presenta como una mezcla de los 3 tipos, por ello se determinó el nivel de ruido equivalente (L_{eq}).

2.2.9. Nivel de ruido equivalente

Para mediciones realizadas en intervalos de tiempo mayores: segundos, minutos u horas, los instrumentos cuantifican el nivel de ruido variable en el tiempo a largo plazo como el nivel promedio en el tiempo o nivel de ruido equivalente (L_{eq}), es decir el total de la energía acústica es medida promediándola en el período de tiempo de medición. El L_{eq} puede considerarse como un nivel de ruido estable y continuo que tendría la misma

²²FALCH, Edvard, Guía ambiental para el manejo de problemas de ruido en la industria minera, 1997, p. 20

energía acústica total igual al del ruido real fluctuante en el mismo período de tiempo²³, como se muestra en el gráfico 2.6.

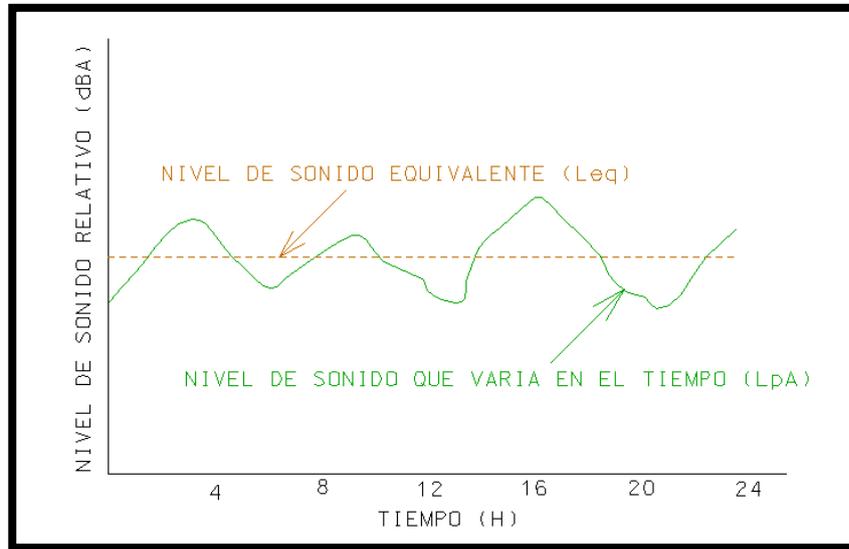


Gráfico 2.6: El nivel de presión sonora equivalente de un período de 24 horas.

El nivel de ruido equivalente se emplea con las ponderaciones A, B, C, y D dependiendo del campo de aplicación y se expresa: el nivel de ruido equivalente ponderado en A (L_{Aeq}) y análogamente para las otras.

2.3. PROPAGACIÓN DEL RUIDO

2.3.1. Propagación del sonido en el aire

Existen muchos factores que pueden afectar directamente a la propagación del sonido en la atmósfera como son los efectos meteorológicos del viento y la temperatura que alteran la dirección de la onda y el efecto de la turbulencia que la distorsiona.

La turbulencia son movimientos desordenados del aire compuestos por pequeños remolinos que se trasladan en las corrientes de aire que son causadas por: corrientes termales, diferencias en el terreno, velocidad del viento o por una variación de la temperatura y presión.

²³FALCH, Edward, Guía ambiental para el manejo de problemas de ruido en la industria minera, 1997, p. 21

Producto de los efectos que causan estos factores es esencial que las mediciones que se realice para determinar la transmisión del ruido al aire libre sean realizadas a nivel del suelo en donde se produce la mayor parte de las actividades cotidianas.

2.3.2. Efectos meteorológicos

La propagación del sonido se caracteriza por la necesidad de un medio (en este caso el aire) para poder propagarse²⁴.

Las condiciones meteorológicas inciden enormemente en la propagación del sonido cuando existe una distancia de 30 metros entre la fuente y el receptor, debido a que en esta distancia se producen una serie de fenómenos producto de que el aire es más viscoso en estas condiciones.

Entre los efectos meteorológicos más importantes tenemos:

Viento: La propagación de los sonidos se ven afectadas por las masas de aire, provocando una mejor percepción en los aparatos de medición cuando éstos se encuentran en la misma dirección que sopla el viento y mala percepción cuando los aparatos de medición se encuentre en dirección contraria a la del viento.

Temperatura: La velocidad con la que se propaga el sonido va a depender directamente de la temperatura, existiendo la siguiente relación:

- Cuando la temperatura aumenta, la longitud de onda del sonido aumenta.
- Cuando la temperatura disminuye, la longitud de onda del sonido disminuye.

Humedad: La humedad produce los siguientes efectos:

- A mayor humedad, produce una mejor propagación del sonido debido a la menor resistencia acústica en el aire.

²⁴ROBERT BARTI, Domingo, Acústica Ambiental, 2010, p.510.

- A menor humedad, disminuye la propagación del sonido debido a la mayor resistencia acústica del aire.

Lluvia y niebla: La capacidad del sonido de transportarse en la neblina o en precipitaciones débiles de cualquier tipo no se debe a ningún cambio físico del medio que conduce a su mejor propagación, sino mas bien a una reducción de la actividad humana produciendo un nivel de ruido de fondo más bajo que el normal durante estos períodos.

2.4. FUENTES DE RUIDO

Las principales fuentes de contaminación acústica a nivel mundial según el Instituto de Ruido de Londres son: vehículos automotores, industria y ferrocarriles en ese orden de prioridad, como se muestra en la tabla 2.3 y el diagrama 2.1:

Tabla 2.3: Fuentes de contaminación acústica a nivel mundial

FUENTE	%
Vehículos automotores	80
Industria	10
Ferrocarril	4
Otros	6
Total	100

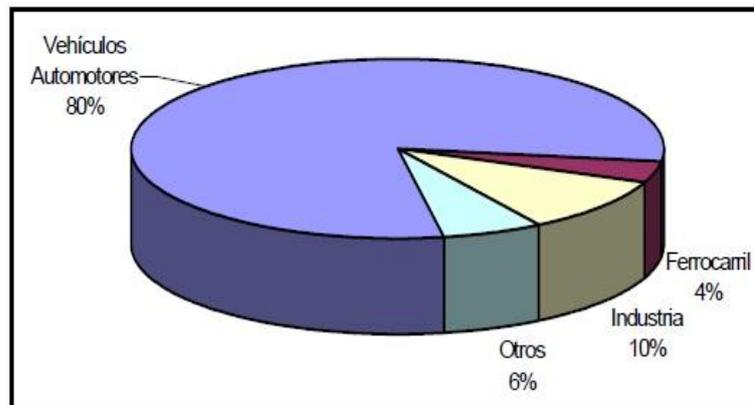


Diagrama 2.1: Principales fuentes de contaminación acústica.²⁵

²⁵RUZA, F, El ruido del tráfico: Evaluación y corrección de su impacto, Simposio sobre Impacto Ambiental de Carreteras, PIARC, España, 1998.

Según el diagnóstico mundial elaborado por el Área de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Agenda 21 de las Naciones Unidas, establece que las principales fuentes de ruido son:

- **Industria:** El ruido que se produce es causado por la maquinaria utilizada y se aumenta debido a la relación directa a la potencia de las máquinas. El ruido generado por industrias promedia los 90 dB(A).
- **Medios de transporte:** Se considera como la fuente más importante de ruido al tráfico vehicular. Esta incidencia está directamente relacionada con la velocidad del vehículo y las características físicas en que se encuentre la vía. Este punto es muy importante ya que solamente en este aspecto se produce una serie de variaciones de ruido debido a factores como la intensidad del tráfico, las alarmas, el uso indebido del claxon, el mal estado del vehículo, entre otros. Como fuentes secundarias tenemos al ruido generado por ferrocarriles y al generado por los aeropuertos que en la actualidad causan graves daños a poblaciones cercanas. El ruido generado por medios de transporte fluctúa entre 70 y 90 dB(A).
- **Construcción de edificios y obras públicas:** Se genera ruido durante la construcción, debido al empleo de maquinarias como: cementeras, grúas, martillo de perforación, etc. Aunque el personal que labora en estas actividades se protegen de la generación de estos ruidos, la mayor parte de la afectación es recibida por las personas comunes que habitan alrededor de ella o transitan por ella, esto debido a que mucha de la maquinaria empleada en estos proyectos no poseen silenciadores.
- **Privado:** Ruido que son generados debido a ciertas actividades de limpieza, electrodomésticos, aparatos de radio y televisión, animales

domésticos y en si a la vida cotidiana de las personas. Este ruido se lo puede considerar de carácter privado que en muchos es difícil de controlar sino existe una cultura para evitar el ruido.

- Ocio y tiempo libre: Lugares de diversión como cafeterías, discotecas, conciertos, ferias, etc., muchos de ellos pueden sobrepasar los niveles de contaminación sonora en especial en la noche²⁶.

Según el Ilustre Municipio del D.M.Q en la Ordenanza Metropolitana No.123-2004, en la sección 2, definiciones; clasifican las fuentes de contaminación acústica de la siguiente manera:

- Fuentes fijas: Corresponden a todo tipo de industria, máquinas con motores de combustión, eléctricos o neumáticos terminales y bases de autobuses y ferrocarriles, aeropuertos, clubes cinegéticos y polígonos de tiro, ferias, circos y otras semejantes.
- Fuentes móviles: Corresponden a aviones, helicópteros, tracto camiones, autobuses, integrales, camiones, automóviles, motocicletas, embarcaciones, equipo y maquinaria con motores de combustión interna, eléctricos, neumáticos, aparatos y equipos de amplificación, y similares²⁷.

2.5. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Existen diversos instrumentos para medir y evaluar el ruido como es el sonómetro, acusímetro, osciloscopio, el analizador de banda de octava, el magnetófono, el sonógrafo y el exposímetro²⁸:

²⁶<http://www.almansa.es/Agenda21>

²⁷ILUSTRE MUNICIPIO DEL D.M.Q, Ordenanza Metropolitana de Quito No.0123, Art.4, 2004

²⁸BRUUSGARD, A., Forssman, S. Goldwater, L. J., Noro, L. Schoid, M.O 1963 Occupational helth for developing copuntries, Ginegra. O.M.S documento no publicado, 28 de Junio de 1963.

El sonómetro (ver foto 2.1), permite señalar los niveles de presión acústica en la zona audible, es más sensible y exacto que los otros instrumentos. Las diferencias de tensión debido a la presión de las ondas sonoras que llegan sucesivamente al micrófono se amplifican y se expresan en decibelios. Normalmente está provisto de tres redes eléctricas de ponderación o filtración que permite tener una aproximación adecuada a los distintos niveles de ruido.



Foto 2.1: Sonómetro²⁹.
Fecha: 28-06-1963, Autor: Bruusgard A.

El dosímetro (ver foto 2.2), es un pequeño sonómetro integrador que permite evaluar los niveles de ruido a los que está sometida una persona. Se lo emplea en lugares en donde se presume que existirá el riesgo de trastornos auditivos. Lleva incorporado un sistema lector en el que se expresa la dosis acumulada en el tiempo que ha estado funcionando.

Los más modernos nos dan directamente el nivel de presión sonora equivalente de cualquier ruido y el nivel sonoro continuo equivalente diario.

²⁹<http://www.gisiberica.com/sonometros/sonometros.htm>



Foto 2.2: Dosímetro³⁰.
Fecha: 27-11-2007, Autor: Quest-Technologies.

El osciloscopio de rayos catódicos tiene la bondad de realizar observaciones de las características vibratorias de un ruido y se lo emplea en el estudio de ruidos de percusión.

El analizador de bandas de octava permite estudiar las frecuencias que influyen en la sordera más que en la intensidad total del ruido. Estos análisis son necesarios para evaluar la intensidad del ruido y la molestia que ésta representa. Su funcionamiento operativo está compuesto de filtros de banda, los mismos que dividen el espectro audible en varios grupos de frecuencia.

El sonógrafo de representación gráfica se emplea básicamente en combinación con los sonómetros para registrar los niveles de presión acústica sobre una banda de papel. Su uso está supeditado a registrar niveles de ruido durante un tiempo prolongado.

El exposímetro (ver foto 2.3), permite calcular con bastante exactitud la exposición total al ruido, el mismo permite registrar el tiempo en que un trabajador está expuesto a una intensidad igual o superior a un nivel determinado.

³⁰<http://www.Quest-Technologies.com>.

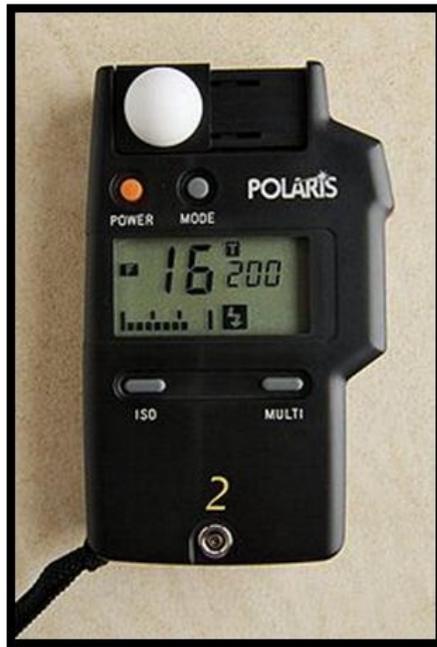


Foto 2.3: Exposímetro³¹.
Fecha: 23-06-2005, Autor: Polaris.

2.6. EFECTOS DEL RUIDO

2.6.1. Efectos en los seres humanos

Interferencia en la comunicación

Según la Organización Mundial de la Salud, los ruidos nocivos obstaculizan la expresión hablada, aunque no siempre algunos sean nocivos. Se estima que una conversación normal varía mucho en amplitud pero su nivel suele ser de 65 dB a un metro de distancia, con oscilaciones de 20 dB³². La interferencia causada por el ruido se le considera como un proceso de desfiguración, en donde los ruidos de fondo aumentan nuestro umbral auditivo. El grado de aumento del umbral auditivo se llama nivel de interferencia del habla y se lo expresa en decibeles.

En la tabla 2.4, se muestra que para una distancia de 1 m del hablante al oyente, existe un nivel de ruido de fondo con los siguientes efectos:

³¹<http://www.exposímetro.com>

³²BELL, Alain El Ruido, Riesgo para la salud de los trabajadores y molestia para el público, 1969, p. 32.

Tabla 2.4: Efectos de nivel dB a una distancia de 1 m.

DECIBELES	EFEECTO
45 dB	Discurso relajante, 100% comprensible.
55 dB	Discurso entendido claramente.
65 dB	Discurso hablado con un mayor esfuerzo vocal para entenderse.

Por lo que en relación a las conversaciones, el ruido se clasifica en función de los valores más elevados de la presión acústica en las tres bandas de octava que son de 500, 1000 y 2000 Hz, que establece en la tabla 2.5:

Tabla 2.5: Índices de graduación de ruido para la inteligibilidad de la conversación³³.

ÍNDICE DE EVALUACIÓN DEL RUIDO dB	DISTANCIA MÁXIMA(m) A LA QUE LA PALABRA EN TONO DE CONVERSACIÓN SE ESTIMA INTELIGIBLE	DISTANCIA MÁXIMA(m) A LA QUE LA PALABRA EN VOZ ALTA SE ESTIMA INTELIGIBLE
40	7	14
45	4	8
50	2,2	4,5
55	1,3	2,5
60	0,7	1,4
65	0,4	0,8
70	0,2	0,4
75	0,13	0,25
80	0,07	0,15
85	-----	0,08

Pérdida de la audición

La deficiencia auditiva se define como un incremento en el umbral de audición que puede estar acompañada de zumbido de oídos. La deficiencia auditiva causada por ruido se produce predominantemente en una banda de

³³BELL, Alain El Ruido, Riesgo para la salud de los trabajadores y molestia para el público, 1969, p. 33.

frecuencia de 3000 a 6000 Hz; el efecto más grande ocurre a 4000 Hz. Pero si el LAeq, 8h (nivel de presión sonora equivalente medido en un intervalo de 8 horas) y el tiempo de exposición aumentan, la deficiencia auditiva puede ocurrir inclusive en frecuencias tan bajas como de 2 000 Hz. Sin embargo, no se espera que ocurra en niveles de LAeq, 8h (nivel de presión sonora equivalente medido en un intervalo de 8 horas) de 75 dB(A) o menos, aun cuando la exposición al ruido ocupacional sea prolongada.

En el nivel mundial, la deficiencia auditiva es el riesgo ocupacional irreversible más frecuente y se calcula que 120 millones de personas tienen problemas auditivos. En países en desarrollo, no sólo el ruido ocupacional sino también el ruido ambiental es un factor de riesgo para la creciente deficiencia auditiva. El daño en la audición también se puede deber a ciertas enfermedades, algunos productos químicos industriales, medicamentos tóxicos, golpes en la cabeza, accidentes y factores hereditarios. El deterioro de la audición también se asocia al proceso de envejecimiento (presbiacusia)³⁴.

El daño auditivo provocado por exposición de ruido ocupacional según La Organización Internacional de Medidas (ISO) se indica en la tabla 2.6.

Tabla 2.6: Riesgo de daño auditivo en porcentaje³⁵.

LAe8H(dB)	AÑOS DE EXPOSICIÓN AL RUIDO						
	2_años	5_años	10_años	20_años	30_años	40_años	45_años
NORMAL	1	2	3	7	14	32	50
85	1	3	6	13	22	42	57
90	3	7	12	23	32	54	65
95	4	10	20	35	45	61	72
100	5	14	31	49	58	74	82
105	8	20	45	65	77	87	91
110	10	28	58	85	91	95	95

³⁴O.M.S, Guías para el ruido urbano, 1999, p. 2

³⁵INTERNATIONAL STANDARD, ISO 1999: Determination of occupational noise exposure and estimation of noise induced hearing impairment. (ISO 1999 : 1990)

Efectos en la perturbación en el sueño

El ruido ambiental produce trastornos del sueño importantes. Puede causar efectos primarios durante el sueño y efectos secundarios que se pueden observar al día siguiente.

El sueño ininterrumpido es un pre-requisito para el buen funcionamiento fisiológico y mental. Los efectos primarios del trastorno del sueño son dificultad para conciliar el sueño, interrupción del sueño, alteración en la profundidad del sueño, cambios en la presión arterial y en la frecuencia cardíaca, incremento del pulso, vaso constricción, variación en la respiración, arritmia cardíaca y mayores movimientos corporales.

La diferencia entre los niveles de sonido de un ruido y los niveles de sonido de fondo, en lugar del nivel de ruido absoluto, puede determinar la probabilidad de reacción. La probabilidad de ser despertado aumenta con el número de eventos de ruido por noche. Los efectos secundarios o posteriores en la mañana o día(s) siguiente(s) son percepción de menor calidad del sueño, fatiga, depresión y reducción del rendimiento. Para descansar apropiadamente, el nivel de sonido equivalente no debe exceder 30 dB(A) para el ruido continuo de fondo y se debe evitar el ruido individual por encima de 45 dB(A).

Para fijar límites de exposición al ruido durante la noche, se debe tener en cuenta la intermitencia del ruido. Esto se puede lograr al medir el número de eventos de ruido y diferenciar entre el nivel de sonido máximo y el nivel de sonido de fondo. También se debe prestar atención especial a las fuentes de ruido en un ambiente con bajos niveles de sonido de fondo; combinaciones de ruido, vibraciones y fuentes de ruido con componentes de baja frecuencia³⁶.

Efectos en el rendimiento

Se ha demostrado que el ruido puede perjudicar el rendimiento de los procesos cognitivos, principalmente en trabajadores y niños. Si bien un incremento provocado del ruido puede mejorar el rendimiento en tareas

³⁶O.M.S, Guías para el ruido urbano, 1999, p. 4

sencillas de corto plazo, el rendimiento cognoscitivo se deteriora sustancialmente en tareas más complejas.

Entre los efectos cognoscitivos más afectados por el ruido se encuentran la lectura, la atención, la solución de problemas y la memorización. El ruido también puede actuar como estímulo de distracción y el ruido súbito puede producir un efecto desestabilizante como resultado de una respuesta ante una alarma.

La exposición al ruido también afecta negativamente el rendimiento. En las escuelas alrededor de los aeropuertos, los niños expuestos crónicamente al ruido de aviones tienen problemas en la adquisición y comprensión de la lectura, en la persistencia para completar rompecabezas difíciles y en la capacidad de motivación.

Se debe reconocer que algunas de las estrategias de adaptación al ruido de aviones y el esfuerzo necesario para desempeñar adecuadamente una tarea tienen su precio. El ruido también puede producir deficiencias y errores en el trabajo y algunos accidentes pueden indicar un rendimiento deficiente³⁷.

Efectos sobre las funciones fisiológicas

La exposición al ruido puede tener un impacto permanente sobre las funciones fisiológicas de los trabajadores y personas que viven cerca de aeropuertos, industrias y calles ruidosas.

Después de una exposición prolongada, los individuos susceptibles pueden desarrollar efectos permanentes, como hipertensión y cardiopatía asociadas con la exposición a altos niveles de sonido. La magnitud y duración de los efectos se determinan en parte por las características individuales, estilo de vida y condiciones ambientales.

³⁷O.M.S, Guías para el ruido urbano, 1999, p. 4

Los sonidos también provocan respuestas reflejo, en particular cuando son poco familiares y aparecen súbitamente. La presión arterial y el riesgo de hipertensión suelen incrementarse en los trabajadores expuestos a altos niveles de ruido industrial durante 5 a 30 años.

Una exposición de largo plazo al ruido del tráfico con valores de LAeq, 24h (nivel de presión sonora equivalente medida en un intervalo de 24 horas) de 65-70 dB(A) también puede tener efectos cardiovasculares.

Si bien las asociaciones son débiles, el efecto es más fuerte en el caso de cardiopatía isquémica que en hipertensión. Esos pequeños incrementos de riesgo son importantes debido a la gran cantidad de personas expuestas.

Efectos sobre la salud mental

El ruido ambiental no causa directamente enfermedades mentales, pero se presume que puede acelerar e intensificar el desarrollo de trastornos mentales latentes.

La exposición a altos niveles de ruido ocupacional se ha asociado con el desarrollo de neurosis, pero los resultados de la relación entre ruido ambiental y efectos sobre la salud mental todavía no son concluyentes.

No obstante, los estudios sobre el uso de medicamentos, tales como tranquilizantes y pastillas para dormir, síntomas psiquiátricos y tasas de internamientos en hospitales psiquiátricos, sugieren que el ruido urbano puede tener efectos adversos sobre la salud mental³⁸.

2.6.2. Efectos en la fauna

Se conoce que muchos animales reaccionan a las exposiciones de ruido de muchas maneras y estas reacciones van a variar dependiendo de los distintos tipos de especies.

³⁸O.M.S, Guías para el ruido urbano, 1999, p. 5

En el reino animal la audición es muy importante para los animales en general, ya que les permite generar autodefensas en muchos casos y en otros casos poder establecer relaciones con los de su misma especie. La pérdida de audición será un factor negativo en su vida cotidiana pues estaría vulnerando su seguridad y comportamiento en el hábitat.

Los animales silvestres tienen normas naturales de reacción en contra de peligros potenciales y esto debido a su nivel auditivo desarrollado, la manera cómo actúan es la siguiente:

- Interrupción de actividades en progreso.
- Reacciones de estrés.
- Reacciones de escape.
- Reacciones de defensa.

En la tabla 2.7 se establecen los niveles de presión sonora equivalente en los cuales la fauna sufre alteraciones.

Tabla 2.7: Niveles de ruido permitidos y no permitidos en la fauna³⁹.

GRUPO DE FAUNA	NIVEL DE PRESIÓN SONORA EQUIVALENTE NPS eq [dB(A)]	NIVEL DE PRESIÓN SONORA EQUIVALENTE NPS eq [dB(A)]
	No produce alteraciones en la fauna	Produce alteraciones en la fauna
Mamíferos	Hasta 20 dB	> 20 dB
Aves	Hasta 10 dB	> 10 dB
Reptiles	Hasta 50 dB	> 50 dB
Anfibios	hasta 60 dB	> 60 dB

^{39,40}United States Environmental Protection Agency (EPA); "Effects of Noise on Wildlife and Other Animals", 1971

Los efectos que se puede producir al sobrepasar los niveles de ruido permitido son: daño auditivo, cambios fisiológicos y alteraciones del comportamiento.

- Estos efectos pueden ser de tipo:
- Efectos primarios: Efectos físicos directos al animal.
- Efectos secundarios: Cambios indirectos que ocurren entre el animal y su ambiente.

En la tabla 2.8 se describe los efectos primarios y secundarios:

Tabla 2.8: Efectos del ruido sobre la fauna⁴⁰.

Tipo de efecto	Primario	Secundario
Auditivo	Pérdida de audición	Cambio en relaciones depredador-presa
	Corrimiento de umbral	Reducción en funcionamiento
Fisiológica	Tensión	Capacidad reproductiva reducida
	Cambio metabólico	Sistema inmunológico debilitado
	Cambio hormonal	Reducción en funcionamiento
Comportamiento	Enmascaramiento de señal	Cambio en relaciones depredador-presa
		Reducción de población
	Comportamiento evasivo	Migración y pérdida de hábitat
		Interferencia en apareamiento

2.7. MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Una medida de mitigación es la implementación o aplicación de cualquier política, estrategia, obra y/o acción tendiente a eliminar o minimizar los impactos adversos que pueden presentarse durante las etapas de ejecución

⁴⁰ UNITED STATES ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY, Effects of Noise on Wildlife and Other Animals, 1971

de un proyecto y mejorar la calidad ambiental aprovechando las oportunidades existentes⁴¹.

2.7.1. Sensibilización a la comunidad

Es importante informar a la comunidad las labores que se realizan para mitigar el problema del ruido.

Para que la comunidad afectada directa e indirectamente tenga conocimientos adecuados de la problemática del ruido, es necesario abordar los siguientes aspectos de interés, como:

- Principales fuentes de ruido, poniendo especial énfasis en el problema de congestión vehicular.
- Conocimiento acerca de los impactos que tiene el ruido sobre la salud, producido por la exposición al ruido.
- Utilización adecuada de transporte alternativo como: transporte público, bicicleta e inclusive el caminar como alternativas menos ruidosas al uso del vehículo particular.

Este tipo de información hacia la comunidad va a influir en el respaldo a las políticas que emana cada Municipio mediante Ordenanzas Municipales, en las que se encuentran establecidos: límites de ruido permisible para fuentes fijas y móviles, límites de velocidad o las prohibiciones de tráfico en cierto horario.

La manera como se va a realizar la comunicación con los diferentes sectores será mediante: folletos, catálogos, carteles, páginas Web, cuestionarios, puntos de atención al ciudadano en las zonas de concentración de la población, centros comerciales, etc.

El conocimiento de la problemática debe estar dirigido a los siguientes sectores que se detallan en tabla 2.9.

⁴¹MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO, Dirección general del medio ambiente, España., Madrid. 2005.

Tabla 2.9: Sectores a los que va dirigido la comunicación⁴².

SECTORES	SUBSECTORES
Comunidad	Habitantes de la ciudad.
	Gente que trabaja en la ciudad.
	Turistas.
	Usuarios del transporte público.
	Conductores de vehículo.
	Peatones.
	Ciclistas.
	Propietarios de establecimientos comerciales.
Sector de la educación	Estudiantes.
	Profesores.
	Personal administrativo.
	Padres de familia.
Sector de la salud	Personal administrativo del sistema de salud.
	Médicos.
	Pacientes.
Medios de comunicación	Periódicos locales y nacionales.

En la actualidad muchos países europeos han aplicado herramientas visuales para informar a los ciudadanos, cómo se debe mantener los niveles de ruido adecuado en el ambiente mediante “barómetros del sonido” en las calles, en donde se presentan los niveles sonoros al público.

La tabla 2.10 presenta los intervalos de presión sonora ponderada en A y su equivalente al ambiente de confort acústico.

⁴²UNION EUROPEA, “Desarrollo sostenible, cambio global y ecosistemas”, Planes de Acción Contra el Ruido en el Ámbito Local, 2007, p.61

Tabla 2.10: Niveles de confort acústico en el barómetro de sonido⁴³.

NPS(A)	NIVELES DE CONFORT ACÚSTICO
Más de 85 dB(A)	Niveles sonoros perjudiciales en caso de exposición prolongada.
>75-85 dB(A)	La comunicación es muy difícil.
>65-75 dB(A)	Paisaje sonoro mediocre.
>45-65 dB(A)	Paisaje sonoro adecuado
Menos de 45 db(A)	Paisaje sonoro excelente.

Reducción de ruido: Se logrará que toda la comunidad respete los niveles de ruido establecidas en ordenanzas municipales.

2.7.2. Ordenamiento territorial

Mediante un ordenamiento territorial adecuado en cada jurisdicción se dará una verdadera utilización del territorio y con ello se podrá reducir los niveles de ruido, sugiriendo los siguientes aspectos:

- Indicando los espacios tranquilos que deben protegerse de las emisiones acústicas.
- Distribuyendo el uso del suelo de forma tal que la distancia entre las fuentes de emisiones acústicas y las áreas sensibles al ruido sea lo suficientemente grande.
- Evitar la generación de tráfico adicional mediante la distribución lógica de las categorías de uso del suelo.
- Reubicación de las zonas de viviendas, zonas industriales, zonas agrícolas, es clave para atenuar el ruido.

Reducción de ruido: Se logrará que se respete los niveles de ruido establecidas en ordenanzas municipales.

⁴³UNION EUROPEA, “Desarrollo sostenible, cambio global y ecosistemas”, Planes de Acción Contra el Ruido en el Ámbito Local, 2007 , p.62

2.7.3. Mejorar la infraestructura vial

Las superficies de las vías en general influyen en el ruido que genera la interacción neumático con la carretera, en la propagación del sonido procedente del motor del vehículo y del sistema de transmisión.

- Se estima que las superficies viales formadas por capas finas de asfalto reduce el ruido hasta 4 dB.
- Los pavimentos porosos unicapa ofrecen una reducción media del ruido de 3-4 dB en auto pistas
- Los pavimentos porosos bicapa pueden reducir el ruido en 4 dB o más.

2.7.4. Mantenimiento de la infraestructura vial

Las irregularidades y discontinuidades suponen una amenaza para el rendimiento de todas las superficies viales en lo que respecta al ruido. Por eso es necesario siempre un buen mantenimiento, a fin de que el nivel de ruido sea el mínimo posible.

Para realizar un mantenimiento adecuado de las redes viales y mantener un nivel de ruido bajo es necesario supervisar de forma frecuente las propiedades de la superficie de la carretera. Supervisado el estado de la carretera el siguiente paso es la intervención de la vía con la intención de mantener las propiedades originales de la vía que garantizan un nivel de ruido adecuado.

Con un mantenimiento preventivo en la red vías se logrará reducir los niveles de ruido 5 y 7dB(A).

2.7.5. Barreras acústicas

Las barreras acústicas se consideran un medio eficaz para reducir la propagación del ruido a lo largo de las carreteras, zonas urbanas, zonas comerciales y zonas industriales. La condición esencial es que la barrera debe estar colocada a una altura suficiente y tener una longitud adecuada para atenuar la emisión del ruido.

Como barreras se utiliza muros, parapetos, edificios o vegetación. Las barreras acústicas podrían reducir los niveles de ruido hasta en 15 dB(A).

Las barreras acústicas se pueden construir con toda una gama de materiales, como montículos de tierra, madera, acero, aluminio, hormigón, mampostería, planchas acrílicas y colchonetas.

Entre las principales barreras tenemos:

- Barreras absorbentes: Con elementos absorbentes en el lado que da al tráfico, que absorben parte del sonido incidental y que de esta manera reducen el reflejo sonoro, que forma parte del ruido general.
- Barreras rematadas: barreras cuya parte superior tiene una forma especial para reducir las ondas sonoras que pasan por encima de la barrera.
- Barreras con ángulo y dispersión: Reflejan el sonido hacia arriba o en otra dirección alejándolo de la zona sensible a través de paredes inclinadas o superficies curvadas, se realiza cuando se construyen a ambos lados de la carretera.
- Muros de contención y montículos de tierra.
- Barreras con diferentes alturas a lo largo de su longitud: Su forma está diseñada para crear un efecto de interferencia destructivo en el lado de la carretera que reduce el ruido sobre la otra.
- Barreras dobles: Dos barreras individuales instaladas en filas paralelas a lo largo de un lado de la carretera. Se considera que el ruido del tráfico se difracta a lo largo de los bordes de ambas barreras.
- Vegetación como barrera acústica: Reduce 1 dB(A) por una plantación de 10 metros de profundidad.

2.7.6. Aislamiento de las casas y edificios

Para evitar que el ruido exterior penetre en la vivienda es necesario insonorizar (aislarlo acústicamente) las viviendas, ventanas y paredes exteriores de un edificio. En la actualidad se han desarrollado ventanas de doble hoja o fachadas de cristal. El aislamiento de las viviendas y edificios se lo realiza cuando el sonido exterior supera los 55 dB durante el día y los 45 dB LAeq (Nivel sonoro acústico equivalente) por la noche.

Los materiales aislantes reducen los niveles de ruido de la siguiente manera:

- Las ventanas modernas de doble hoja logran reducir el sonido alrededor de 30 dB.
- Las puertas sólidas bien instaladas consiguen 25-30 dB.

La forma y orientación en la construcción de los edificios y casas se lo debe realizar con el objetivo de provocar que el sonido rebote en la fachada, evitando que el sonido se refleje en otras fachadas y provoque más molestias, como se observa en la figura 2.1.

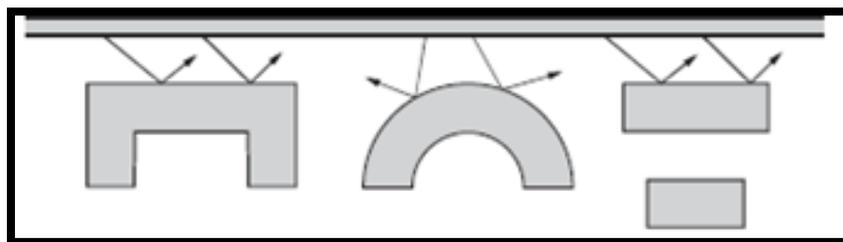


Figura 2.1: Orientación de las edificaciones con respecto a la carretera. El sonido rebota en la fachada sin afectar a la fachada de la casa contigua⁴⁴.

2.7.7. Promover medios de transporte alternos

Algunas de las medidas para promover un cambio en el medio de transporte diario son:

⁴⁴UNION EUROPEA, “Desarrollo sostenible, cambio global y ecosistemas”, Planes de Acción Contra el Ruido en el Ámbito Local, 2007 , p.89

- Vehículos de transporte público limpios y cómodos, buena accesibilidad en las estaciones, trayectos de menor duración a través de líneas de autobús diferentes.
- Utilización de la bicicleta.
- Política local de estacionamientos de vehículos.
- Gestión de la movilidad.
- Tranvías.

Reducción de ruido: Se logrará que se reduzcan aproximadamente 10 dB(A).

2.7.8. Renovación de la flota de transporte público

El transporte público moderno emite mucho menos ruido que las unidades del parque automotor antiguo debido a las nuevas tecnologías amigables para el medio ambiente.

Durante esta renovación del parque automotor las autoridades en sus niveles correspondientes pueden decidir qué tipo de flota se requiere para bajar los niveles de ruido.

Los vehículos nuevos deben respetar las normas vigentes tanto a nivel nacional como local.

La emisión de ruido en los vehículos modernos es de unos 10 dB(A) menos que en los vehículos antiguos.

2.7.9. Revisión del parque automotor y motocicletas

Los vehículos y motocicletas pueden generar una emisión de ruido excesiva. Es necesario realizar controles periódicos en el parque automotor para reducir el impacto acústico. Estos controles deben estar dirigidos a una prueba de ruido estacionario que se lleva a cabo en las proximidades de los tubos de escape.

Estos controles resultan especialmente eficaces ya que podrían reducir el ruido causado por el parque automotor en torno a los 5-10 dB(A).

2.7.10. Influir sobre el comportamiento del conductor

Los estilos de conducción influyen considerablemente en el ruido que se genera. Existe una relación entre la aceleración y el ruido en el caso de los vehículos de pasajeros. Conducir a pocas revoluciones por minuto, evitando grandes aceleraciones innecesarias y altas velocidades, se considera una norma para reducir considerablemente el ruido de un vehículo.

32 vehículos circulando a 2000 R.P.M no produce más ruido que un único vehículo circulando a 4000 R.P.M

Una conducción pasiva reduce el ruido en 5 dB y 7 dB en el caso de las motocicletas.

2.7.11. Reducir y hacer cumplir los límites de velocidad

Reducir y cumplir con los límites de velocidad tienen un efecto sobre la emisión de ruido procedente del tráfico. Es posible reducir la velocidad mediante una adecuada Ley de tránsito y una correcta señalética.

Una manera de conseguir que la señalética y la ley de tránsito resulten eficaces en relación con el ruido es haciendo que la policía obligue a su cumplimiento de forma masiva y eficiente.

Reducir la velocidad de 50 a 40 km/h hace que los vehículos generen 2,8 dB(A) menos de ruido, por ello las reducciones de velocidad en general permiten reducir los niveles de ruido hasta en 3 dB(A).

2.7.12. Rediseño del espacio en la calle

Las carreteras urbanas normalmente se diseñan para dar prioridad a los medios de transporte y permitir velocidades de hasta 50 km/h. Los esfuerzos por reducir la velocidad en estas vías suelen ser ineficientes por la mala actitud

de los conductores. Cambiar el diseño de la calle de forma tal que lleve a los conductores a circular más despacio de manera intuitiva es la forma más eficiente para obligar a que se cumplan con los límites de velocidad.

En este contexto existen varias medidas en la que los conductores den prioridad a ciclistas y peatones, haciendo de este modo que reduzcan la velocidad y disminuir las emisiones de ruido.

Reducción de ruido: Se logrará que se respete los niveles de ruido establecidas en ordenanzas municipales.

2.7.13. Prohibiciones sobre el transporte pesado

La prohibición de circular camiones durante ciertas horas del día, permitiendo únicamente la carga o descarga en horario establecido reducirá el número de picos sonoros y por tanto las alteraciones en la salud y la molestia de las personas que viven junto a las carreteras.

Esta acción permitirá una reducción de 6 dB(A) en las emisiones de ruido.

2.7.14. Reducción del ruido en la fuente

La mejor manera de combatir el ruido en su fuente es sustituyendo alguna máquina ruidosa. El propio fabricante puede combatir el ruido en la fuente, haciendo que los aparatos no sean ruidosos. En la actualidad muchas máquinas se ajustan a las normas vigentes sobre ruidos y, por lo tanto, antes de adquirir nuevas máquinas se debe comprobar si cumplen las normas sobre ruidos. Es mejor dotar de un silenciador a la máquina que poner protectores de los oídos a los trabajadores.

El mantenimiento, la lubricación y la sustitución de las piezas gastadas o defectuosas oportunamente ayudan a reducir el ruido que causa la maquinaria.

2.8. NORMAS REFERENTES A LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

2.8.1. Normas internacionales

1. Chile

En la normativa chilena se exponen los siguientes niveles máximos permisibles para las emisiones de ruido de acuerdo a la tabla 2.11:

Tabla 2.11: Niveles máximos de ruido según el uso del suelo para la normativa Chilena.

NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PRESIÓN SONORA CORREGIDOS (NPC) EN dB(A) Lento		
Zona	De 7 a 21Hrs.	De 21 a 7 Hrs.
Zona I	55	45
Zona II	60	50
Zona III	65	55
Zona IV	70	70

- Zona I: Aquella zona cuyos usos de suelo permitidos de acuerdo a los instrumentos de planificación territorial corresponden a: habitacional y equipamiento a escala vecinal.
- Zona II: Aquella zona cuyos usos de suelo permitidos de acuerdo a los instrumentos de planificación territorial corresponden a los indicados para la Zona I, y además se permite equipamiento a escala comunal y/o regional.
- Zona III: Aquella zona cuyos usos de suelo permitidos de acuerdo a los instrumentos de planificación territorial corresponden a los indicados para la Zona II, y además se permite industria inofensiva.
- Zona IV: Aquella zona cuyo uso de suelo permitido de acuerdo a los instrumentos de planificación territorial corresponde a industrial, con industria inofensiva y/o molesta.

2. España

En España se dicta normas o leyes en lo que enmarca la protección del trabajador en contra del ruido así como los niveles de ruido permitidos.

El 17 de Noviembre del 2003 se emite la Ley 37/2003, en la que establece los niveles de ruido permitidos, de acuerdo a la tabla 2.12.

Tabla 2.12: Niveles máximos de ruido según el uso del suelo para la normativa Española.

ZONA	DÍA	NOCHE
Zona tipo I (Área silencio)	50	40
Zona tipo II (Área leve ruidosa)	55	45
Zona tipo III (Área tolerable ruidosa)	65	55
Zona tipo IV (Área ruidosa)	70	60
Zona tipo V (Área especial ruidosa)	75	60

Tipo I: Área de silencio	<p>Uso sanitario.</p> <p>Uso docente o educativo.</p> <p>Uso cultural.</p> <p>Espacios protegidos.</p>
Tipo II: Área levemente ruidosa	<p>Uso residencial.</p>
Tipo III: Área tolerablemente ruidosa	<p>Uso hospedaje.</p> <p>Uso oficinas y servicios.</p> <p>Uso comercial, uso deportivo.</p> <p>Uso recreativo.</p>
Tipo IV: Área ruidosa	<p>Uso industrial.</p> <p>Servicios públicos.</p>
Tipo V: Área especialmente ruidosa	<p>Áreas espectáculos al aire libre.</p> <p>Sectores afectados por infraestructuras de transportes.</p>

2.8.2. Normas nacionales

En 1974 se dicta el decreto 487 el cual se otorga funciones específicas al Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias para el saneamiento ambiental, planificación, investigación y control de la contaminación del aire, agua, suelo y estudios de ecología en general. En 1980 se crea el Consejo Nacional de Desarrollo y Normas Ecológicas del Plan quinquenal con las mismas funciones ambientalmente direccionadas a la parte ambiental. En la constitución de la República del Ecuador del año de 1998 se crea la Ley de Gestión Ambiental y con ella el Texto Unificado de Legislación Secundaria Ambiental (T.U.L.A.S).

1. Texto Unificado de Legislación Secundaria Ambiental

En el T.U.L.A.S en el Libro 6, Anexo 5 se encuentran los “LÍMITES PERMISIBLES DE NIVELES DE RUIDO AMBIENTE PARA FUENTES FIJAS Y FUENTES MÓVILES, Y PARA VIBRACIONES”. Los niveles de presión sonora equivalente (NPS_{eq}) expresados en decibeles, en ponderación con escala A, que se obtengan de la emisión de una fuente fija emisora de ruido, no podrán exceder los valores que se fijan en la tabla 2.13.

Tabla 2.13: Límites máximos permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas⁴⁵.

TIPO DE ZONA SEGÚN USO DE SUELO	NIVEL DE PRESIÓN SONORA EQUIVALENTE NPS eq [dB(A)]	
	DE 06H00 A 20H00	DE 20H00 A 06H00
Zona hospitalaria y educativa	45	35
Zona Residencial	50	40
Zona Residencial mixta	55	45
Zona Comercial	60	50
Zona Comercial mixta	65	55
Zona industrial	70	65

⁴⁵TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA, 1998, p.4

2. Reglamento general de seguro de riesgo del trabajo

El Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social mediante resolución No.741, establece el Reglamento General de Seguro de Riesgo del Trabajo, y en el CAPÍTULO I: DE LOS ACCIDENTES DE TRABAJO Y DE LAS ENFERMEDADES PROFESIONALES”, en la Artículo 4 establece:

“Se consideran agentes específicos que entrañan el riesgo de enfermedad profesional los siguientes agentes”, y dentro de los cuales en el:

Numeral “I AGENTES FÍSICOS” se le considera al ruido y ultrasonido y en el Artículo 7 establece las consecuencias de exponerse al ruido, en donde se expresa:

“Las incapacidades permanentes parciales debidas a sordera profesional se graduarán en base al porcentaje de pérdida auditiva bilateral del individuo lesionado en las frecuencias de la voz hablada 500 - 1000 - 2000 - 3000 ciclos por segundo (cps) considerando el rango entre 15 y 82 decibels de pérdida correspondiente a 0 y 100 por ciento.

Para obtener el porcentaje de pérdida auditiva bilateral, se seguirá el siguiente procedimiento:

- 1) Promedio de la pérdida de decibels de las cuatro frecuencias citadas;
- 2) Por cada decibel de pérdida que pase de 15 decibels se aumenta 1,5%;
- 3) El porcentaje encontrado en el oído mejor, se multiplica por 5;

El resultado se añade al porcentaje encontrado en el oído más afectado y la suma total se divide por 6, cuyo cociente es la pérdida auditiva bilateral para la conversación normal⁴⁶.

De acuerdo a este reglamento podemos darnos cuenta de la incidencia del ruido ya en las actividades cotidianas, he allí la importancia de establecer las fuentes de ruido y tener a mano el ruido predominante en los diversos sectores.

⁴⁶ REGLAMENTO GENERAL DEL SEGURO DERIESGOS DEL TRABAJO, I.E.S.S., Art.4 y 7.

2.8.3. Normas locales

1. Ordenanza Metropolitana No. 123 del Distrito Metropolitano de Quito.

La Ordenanza Metropolitana No.0123, del Distrito Metropolitano de Quito expedida mediante Resolución 0002-DMA- 2008 de la DIRECCION METROPOLITANA AMBIENTAL; en la cual determina los niveles permisibles de ruido en el ambiente, en el Artículo 10 de la Sección: III:

“El nivel de emisión de ruido máximo permisible en fuentes fijas no podrá transgredir los horarios no exceder los valores que se fijan en la tabla 2.14:”

Tabla 2.14: Niveles máximos permitidos de ruido para fuentes fijas⁴⁷.

TIPO DE ZONA SEGÚN USO DE SUELO	NIVEL DE PRESIÓN SONORA EQUIVALENTE NPS eq [dB(A)]	
	DE 06H00 A 20H00	DE 20H00 A 06H00
Zona de equipamientos y protección (1)	45	40
Zona residencial	50	35
Zona residencial múltiple (2)	55	45
Zona industrial 1	60	50
Zona industrial 2 (3)	65	55
Zona industrial 3 y 4 (4)	70	60

En donde:

(1): Equipamiento de servicios sociales.

(2): Incluye uso comercial y de servicios, uso agrícola residencial, y equipamiento de servicios públicos.

(3): Incluye uso de aprovechamiento de recursos renovables.

(4): Incluye uso de aprovechamiento de recursos no renovables.

⁴⁷ORDENANZA METROPOLITANA DE QUITO No.0123, 2008, Art.10.

Estos niveles se medirán en forma continua o fluctuante en las colindancias del predio, conforme lo establecido a las normas correspondientes (Texto Unificado de Legislación Secundaria).

2. La Ordenanza de Gestión Ambiental, del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui

El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui, mediante registro oficial No.31 del 22 de Septiembre del 2009, expide:

“La Ordenanza de Gestión Ambiental que en su: TITULO III: CONTAMINACION ACUSTICA, CAPITULO I: EMISION DE RUIDO DE FUENTES FIJAS, define los siguientes artículos:

Art. 62.- La Municipalidad a través de la Dirección de Protección Ambiental y de la Dirección de Planificación, de oficio o a petición de parte, podrá señalar zonas de restricción temporal o permanente a la emisión de ruido en áreas colindantes a centros hospitalarios o en general en aquellos establecimientos donde haya personas sujetas a tratamiento o recuperación.

Art. 63.- En toda operación de carga o descarga de mercancías u objetos que se realicen en la vía pública, no se podrá rebasar un nivel de 55 dB(A) de las seis a las veinte horas y de 45 dB(A) de las veinte a las seis horas.

Para este tipo de operaciones, los motores de los vehículos de carga deberán mantenerse apagados.

Art. 65.- La Dirección de Protección Ambiental, podrá solicitar que en los sitios de reunión donde se considere que el ruido que ahí se genere, pueda causar daño a la salud, se coloquen letreros en lugares visibles, donde se indique la peligrosidad del lugar.

Art. 66.- El nivel de emisión de ruido máximo permisible en fuentes fijas no podrá transgredir los horarios ni exceder los valores que se fijan en el TULAS Libro 6, Anexo 5.

Art. 67.- Los circos, ferias y juegos mecánicos que se instalen en la cercanía de centros hospitalarios, guarderías, escuelas, asilos, lugares de descanso y otros sitios donde el ruido entorpezca cualquier actividad, se deberán ajustar a un nivel máximo permisible de emisión de ruido de 55 dB (A). Este nivel se medirá en forma continua o fluctuante en las colindancias del predio afectado, durante un lapso no menor de diez (10) minutos, conforme a las normas correspondientes (Texto Unificado de Legislación Secundaria).

Art. 68.- Se prohíbe la emisión de ruidos o sonidos provenientes de equipos de amplificación u otros desde el interior de locales destinados, entre otros fines, para viviendas, comercios, servicios, discotecas, salas de baile, o similares, con niveles que sobrepasen los límites determinados para cada zona y en los horarios establecidos en la presente ordenanza.

2.9. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

2.9.1. Variable estadística

Es una característica que al ser medida en diferentes individuos es susceptible a adoptar diferentes valores, por ejemplo: edad, estado civil, número de cédula etc.

2.9.2. Variable aleatoria

Es una variable estadística cuyos valores se obtienen de mediciones en algún tipo de experimento estadístico.

Un experimento estadístico es aquel que bajo el mismo conjunto aparente de condiciones iniciales puede presentar resultados diferentes, no se puede predecir o reproducir el resultado exacto de cada experiencia particular.

2.9.3. Proceso estocástico

Concepto matemático que sirve para caracterizar una sucesión de variables aleatorias que evolucionan en función de otra variable. De manera formal se define como una colección de variables aleatorias indexadas:

$$A = \{X(t); t \in T, T \subseteq \mathbb{R}\}$$

Quiere decir el conjunto de la forma $X(t)$ (variable aleatoria) tal que t (índice) pertenece al subconjunto T (campo muestral o de variabilidad) que se encuentra contenido o es igual al conjunto \mathbb{R} (números reales).

Donde el conjunto T (campo de variabilidad) puede ser: continuo, si es un intervalo; o discreto, si es numerable.

El dominio de esta función, es decir el campo de variabilidad del suceso elemental, es el espacio muestral, y su recorrido, es decir el de la variable aleatoria, es el campo de los números reales.

Por ejemplo T puede ser un conjunto cuyos elementos pueden ser una serie temporal y la variable aleatoria $X(t)$ un conjunto de señales sísmicas, como en el gráfico 2.6.

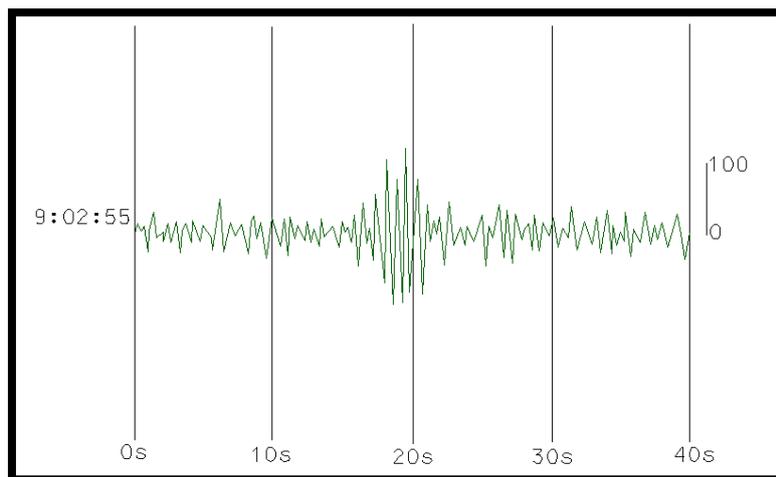


Gráfico 2.7: Señales sísmicas que varían en función del tiempo durante un terremoto.

2.9.4. Estadística espacial

Es la reunión de un conjunto de metodologías apropiadas para el análisis de datos que corresponden a la medición de variables aleatorias en diversos sitios (puntos del espacio o agregaciones espaciales) de una región.

De manera formal se puede decir que la estadística espacial trata con el análisis de realizaciones de un proceso estocástico:

$$Z = \{Z_{(s)}: s \in D, D \subseteq R^d\}$$

Donde,

- $Z(s)$: Es una variable aleatoria en la ubicación s .
- (s) : Representa una ubicación en el espacio muestral.
- D : Es un subconjunto de índices (espacio muestral) y que se encuentra contenido en el espacio euclidiano d -dimensional (R^d).

2.9.5. Geoestadística

Es una rama de la estadística espacial donde se emplean metodologías para analizar los datos provenientes de un proceso estocástico:

$$Z = \{Z_{(s)}: s \in D, D \subseteq R^d\}$$

Donde el índice s proviene de un conjunto D continuo (puntos en el espacio, no agregaciones espaciales) y es seleccionada a juicio del investigador (D fijo). Por ejemplo los niveles de un contaminante en diferentes sitios de una parcela pueden ser tratados con geoestadística, ya que los puntos son seleccionados a juicio o criterio del investigador en cualquier lugar de la parcela.

Otros ejemplos pueden ser: contenidos auríferos en una mina, valores de precipitación medidos en diferentes estaciones meteorológicas o el caso que concierne la presente tesis. Cuando mencionamos “analizar” quiere decir que el

interés primordial es la estimación, predicción y simulación de dichos fenómenos (Myers, 1987).

Con el objetivo de predecir y simular dichos fenómenos se realizan 3 procesos básicos: el análisis exploratorio de datos, los semivariogramas y la interpolación.

En el análisis exploratorio de datos, obtenemos un entendimiento de la calidad de datos tomados; posteriormente los semivariogramas nos permitirán detectar los patrones de las estructuras espaciales (detectar las reglas de las relaciones de los procesos aleatorios espaciales) y cuando se ha aproximado lo suficiente a estas reglas, en el siguiente paso, con los métodos de interpolación se puede realizar predicción de puntos⁴⁸.

2.9.6. Análisis exploratorio de datos

La exploración de datos se realiza visualmente a través de representaciones gráficas y mediante estadísticos descriptivos con el propósito de identificar valores atípicos, verificar la forma de distribución, el cálculo de las medidas de variabilidad y medidas de correlación.

En el gráfico 2.7 se resumen los estadísticos descriptivos de centro, dispersión, posición y forma.

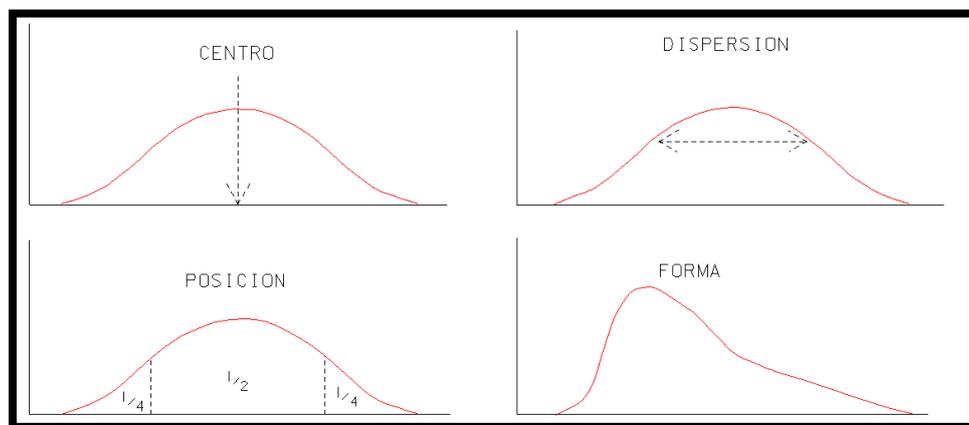


Gráfico 2.8: Gráfico que resume los estadísticos descriptivos.

⁴⁸KOCH, A ,CABRERA, P, Lección 10 Variografía, p. 5

1. Estadísticos de centralización

Media

Es la media aritmética (promedio) de los valores de una variable. Suma de los valores dividido por el tamaño muestral.

Mediana

Es un valor que divide a las observaciones en dos grupos con el mismo número de individuos (percentil 50). Si el número de datos es par, se elige la media de los datos centrales.

Moda

Es el o los valores donde la distribución de frecuencias alcanza un máximo.

2. Estadísticos de dispersión

Miden el grado de dispersión (variabilidad) de los datos independientemente de su causa.

Amplitud o rango

Es la diferencia entre observaciones extremas.

Rango intercuartílico

Es la distancia entre el primer y tercer cuartil.

Varianza

Mide el promedio de las desviaciones (al cuadrado) de las observaciones con respecto a la media.

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_i (x_i - \bar{x})^2$$

Desviación típica

Es la raíz cuadrada de la varianza y tiene la misma dimensionalidad que la variable estudiada.

Coefficiente de variación

Es la razón entre la desviación típica y la media, mide la desviación típica en forma "qué tamaño tiene con respecto a la media". Es frecuente mostrarla en porcentaje.

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} * 100\%$$

Se puede categorizar los coeficientes de variación según la tabla 2.14.

Tabla 2.14: Tabla de coeficientes de variación⁴⁹.

CATEGORIA	COEFICIENTE DE VARIACION
Bajo	<10%
Medio	de 10% a 20%
Alto	de 20% a 30%
Muy Alto	>30%

Valor atípico

Un valor atípico es un registro mayor o menor de lo esperado que se detecta por tener un residuo que es un valor "inusual", muy grande o muy pequeño en relación con el resto de datos.

3. Estadísticos de posición

Cuartiles

Dividen a la muestra en 4 grupos con frecuencias similares.

⁴⁹ UNIVERSIDAD DE MALAGA, Bioestadística, Tema 2 Estadísticos, p. 10

- Primer cuartil= percentil 25 (es decir deja por debajo al 25% de las observaciones).
- Segundo cuartil= percentil 50= mediana.
- Tercer cuartil= percentil 75.

Diagramas de Tukey

Contiene 5 números: mínimo, cuartiles y máximo. La zona central se encuentra entre el primer cuartil y el tercer cuartil se le denomina "caja"; contiene al 50% central de las observaciones y su tamaño se denomina rango intercuartílico.

Los extremos máximo y mínimo se denominan "bigotes" y se separan de la caja en 1,5 del rango intercuartílico (R.I). Los valores que se encuentran fuera de los bigotes son atípicos (o anómalas). El gráfico 2.8 nos permite visualizar la simetría de la distribución.

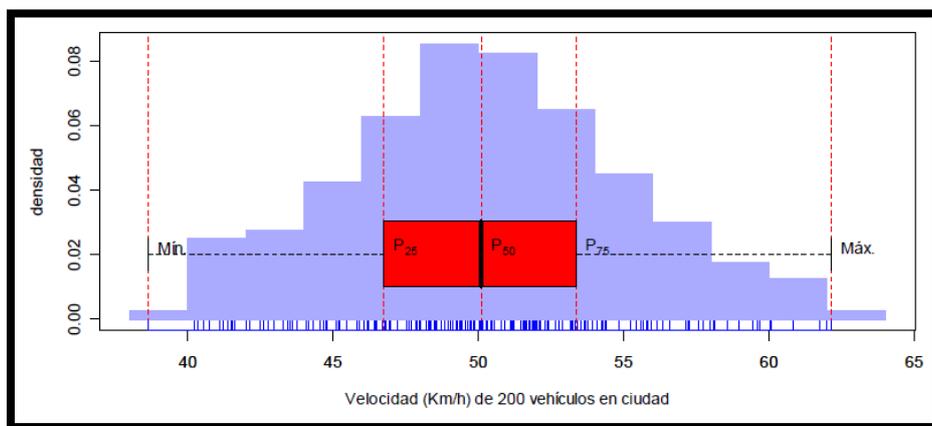


Gráfico 2.9: Diagrama de cajas de Tukey de una muestra de 200 vehículos⁵⁰.

4. Estadísticos de forma

Coefficiente de asimetría

Una distribución es simétrica si la mitad izquierda de su distribución es la imagen especular de su mitad derecha, en las distribuciones simétricas media y mediana coinciden. La asimetría es positiva o negativa en función de a qué

⁵⁰UNIVERSIDAD DE MALAGA, Bioestadística, Tema 2 Estadísticos, p. 11

lado se encuentra la cola de la distribución. El coeficiente de asimetría se calcula de la siguiente manera:

$$g1 = \frac{\frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^3 * ni}{(\frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2 * ni)^{3/2}}$$

Donde:

$g1=0$, la distribución es simétrica

$g1>0$, la curva es asimétricamente positiva, los valores se reunirán en la parte izquierda de la media.

$g1<0$, la curva es asimétricamente negativa, los valores se reunirán en la parte derecha de la media.

En el gráfico 2.9 se muestran los diferentes tipos de distribución simétrica y asimétrica.

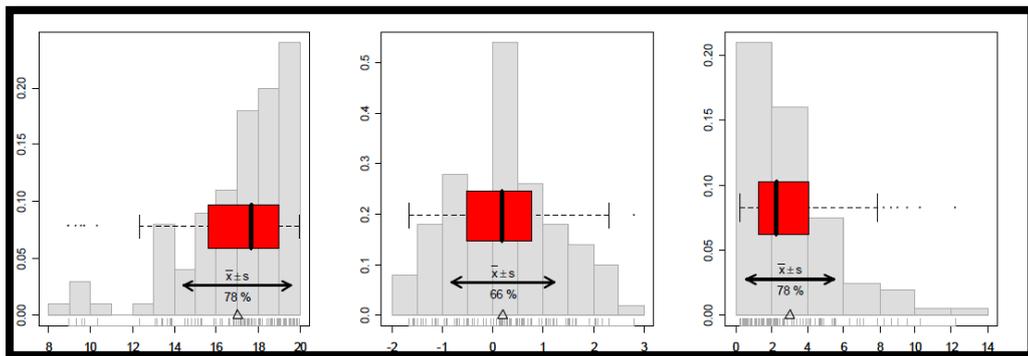


Gráfico 2.10: De izquierda a derecha, 3 cuadros donde existen distribución asimétrica negativa, simétrica y asimétrica positiva respectivamente⁵¹.

Coeficiente de curtosis

La curtosis nos indica el grado de apuntamiento (aplastamiento) de una distribución con respecto a la distribución normal o gaussiana.

El coeficiente de curtosis se calcula de la siguiente manera:

$$g2 = \frac{\frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^4 * ni}{(\frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2 * ni)^2} - 3$$

⁵¹UNIVERSIDAD DE MALAGA, Bioestadística, Tema 2 Estadísticos, p. 13

Donde:

$g_2=0$, la distribución es mesocúrtica (como la normal).

$g_2>0$, la distribución es leptocúrtica (apuntada).

$g_2<0$, la distribución es platicúrtica (aplanada).

En el gráfico 2.10 se muestra los diferentes tipos de grado de apuntamiento de acuerdo a la distribución.

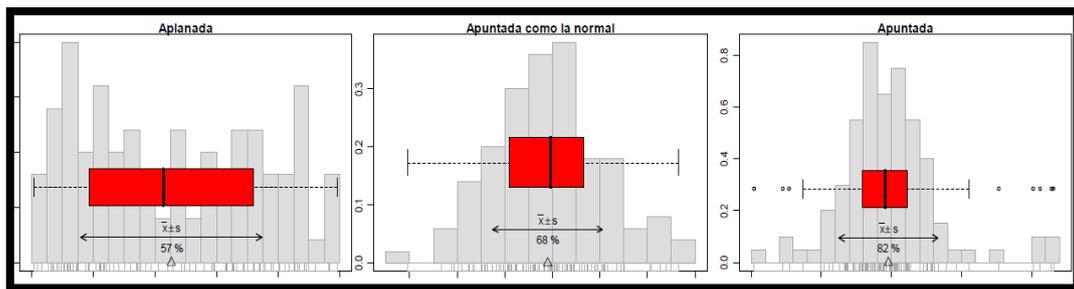


Gráfico 2.11: De izquierda a derecha, 3 cuadros donde existe distribución platicúrtica, mesocúrtica y leptocúrtica respectivamente.

2.9.7. Variable Regionalizada

Es una variable medida en el espacio de manera que presente una estructura de correlación (o de similitud).

Es decir si $Z(s)$ es una variable asociada a un punto s del plano, como por ejemplo el valor de precipitaciones en un punto de la región o zona de estudio, esto quiere decir que en el caso de las mediciones sean hechas en una superficie, entonces $Z(s)$ puede interpretarse como la variable aleatoria asociada a ese punto del plano donde s representa las coordenadas, planas o geográficas y $Z(s)$ la variable en cada una de ellas⁵².

⁵²GIRALDO, Ramón, Introducción a la Geoestadística, Teoría y Aplicación, Universidad Nacional de Colombia, p. 17,18

2.9.8. Momentos de una variable regionalizada

Cualquier conjunto de n variables de la función aleatoria (es decir la función que caracteriza la variabilidad de $Z(x)$), localizados en n puntos diferentes, se define por su función de distribución de probabilidad múltiple:

$$Z = \{Z(x): x \in D, D \subseteq R^d\}$$
$$F(z_1, z_2, \dots, z_n) = \text{Prob}[Z(x_1) \leq z_1, Z(x_2) \leq z_2, \dots, Z(x_n) \leq z_n]$$

Quiere decir que la distribución de probabilidad está completamente especificada por la función de distribución, cuyo valor en cada real z es la probabilidad de que la variable aleatoria sea menor o igual que z .

De manera que para medir el grado de similitud entre las variables se emplean los momentos de primer y segundo orden (momentos univariados y bivariados).

Si se conoce:

$$Z_{x_i} = z_i, Z_{x_j} = z_j$$
$$i, j = \{1, 2, 3, \dots, n\}$$

Momentos univariados:

- La esperanza de la variable aleatoria $Z(x_i)$ debe ser el promedio en todo punto x_i en la región de estudio:

$$E(Z(x_i)) = m(x_i)$$

- La varianza de la variable aleatoria $Z(x_i)$ debe ser la esperanza del cuadrado de $Z(x_i)$ respecto a su media:

$$V(Z(x_i)) = E[Z(x_i) - m(x_i)]^2 = \sigma^2$$

Momentos bivariados:

- La función autocovarianza de 2 variables aleatorias $Z(x_i)$ y $Z(x_j)$ se define por:

$$C(Z(x_i), Z(x_j)) = E[Z(x_i) - m(x_i)][Z(x_j) - m(x_j)]$$

- La función semivarianza de 2 variables aleatorias $Z(x_i)$ y $Z(x_j)$ se define por:

$$\gamma(Z(x_i), Z(x_j)) = 1/2 E[Z(x_i) - Z(x_j)]^2$$

2.9.9. Estacionariedad

Propiedad en que la varianza de los valores de dos puntos con la misma distancia y dirección es constante en el área de estudio, es decir no depende de la posición. Si dos puntos tienen una diferencia en sus valores de medición de 2, no importa en cual lugar del plano se midió esta diferencia. Es decisivo que distancia espacial y que dirección espacial tienen estos 2 puntos.

De manera formal, una variable regionalizada es estacionaria, si su función de distribución probabilística es invariante respecto a cualquier traslación de un vector h , o lo que es lo mismo la función de distribución del vector aleatorio:

$$Z(x) = [Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_n)]$$

es idéntica a la del vector:

$$Z(x) = [Z(x_1 + h), Z(x_2 + h), \dots, Z(x_n + h)]$$

para cualquier incremento h .

La hipótesis de estacionariedad puede definirse en los siguientes términos:

Estacionariedad de segundo orden

Se dice que $Z(x)$ es estacionario de segundo orden si cumple:

- a. El valor esperado o promedio de la variable aleatoria es constante para todo punto en el dominio.

$$E(Z(x))=m(x)=m$$

- b. La covarianza de los valores existentes entre cualquiera de dos puntos x y $x+h$ depende del vector h pero no del punto x .

$$COV[Z(x),Z(x+h)]=C(h)$$

Estacionariedad débil o intrínseca

- a. $Z(x)$ tiene un valor constante para todo punto en el dominio, lo que implica que la esperanza de los incrementos es cero.

$$E[Z(x+h)-Z(x)]=0$$

- b. Para cualquier vector h , la varianza del incremento está definida y depende únicamente de la distancia.

$$V[Z(x+h)-Z(x)]= E[Z(x+h)-Z(x)]^2=2 \gamma(h)$$

Cuando la esperanza de la variable no es la misma en todas las direcciones o cuando la covarianza o correlación dependan del sentido en que se determinan, no habrá estacionariedad. Si la correlación entre los datos no depende de la dirección en la que se calcule se dice que el fenómeno es Isotrópico en caso contrario se hablará de anisotropía⁵³.

2.9.10. Correlación espacial

La segunda etapa en el desarrollo de un análisis geoestadístico es la determinación de la dependencia espacial entre los datos medidos de una

⁵³GIRALDO, Ramón, Introducción a la Geoestadística, Teoría y Aplicación, Universidad Nacional de Colombia, p. 18,19,20

variable, el variograma, semivariograma y covariograma son tipos de funciones que permiten determinar esta dependencia.

1. Variograma y semivariograma

Cuando se mencionó anteriormente que para cualquier vector h , la varianza del incremento está definida y depende únicamente de la distancia, la notación utilizada fue $2\gamma(h)$ (conocido también como variograma), es decir se encuentra definida por:

$$2\gamma(h) = E[Z(x+h) - Z(x)]^2$$

La mitad del variograma $\gamma(h)$, se conoce como la función semivarianza y muestra las propiedades de dependencia espacial del proceso.

$$\gamma(h) = \frac{\sum [Z(x+h) - Z(x)]^2}{2n}$$

Donde:

$Z(x)$, valor de variable en un punto x .

$Z(x+h)$, otro valor muestral separado por la distancia h .

n , número de parejas separado por dicha distancia.

La función semivarianza se calcula para varias distancias h , en la práctica por la irregularidad del muestreo se toman intervalos de distancia $[0, h], (h, 2h], (2h, 3h], \dots$ y el semivariograma experimental corresponde a una distancia promedio y no a una distancia h específica, de la misma manera el número de parejas de puntos varía dentro de cada intervalo.

Para interpretar el semivariograma experimental se parte de la siguiente premisa fundamental: "cuanto más cercanos se encuentran dos puntos (lugares), tanto menor es la diferencia de los valores de las variables, tanto mayor es por lo tanto la correlación espacial mutua; tanto menor es su varianza"

2.9.11. Efecto pepita (Co)

Representa una discontinuidad puntual del semivariograma en el origen. Teóricamente debería comenzar en el origen de coordenadas, porque si la distancia de pares de puntos es 0, es decir se superponen, la respectiva semivarianza también debería ser igual 0, pero ya que los modelos semivarianza son una estimación, por lo tanto también debe recurrir a errores aleatorios y por lo tanto la existencia (generalmente bajas) semivarianzas en el sector de proximidad, que se denominan efecto pepita (ver gráfico 2.11).

2.9.12. Meseta (Co+C1)

Es la cota superior del semivariograma. También puede definirse como el límite del semivariograma cuando la distancia h tiende a infinito. La meseta puede ser o no finita. Los semivariogramas que tienen meseta finita cumplen con la hipótesis de estacionariedad fuerte; mientras que cuando ocurre lo contrario, el semivariograma define un fenómeno natural que cumple sólo con la hipótesis intrínseca. Para que se explique bien la realidad la pepita no debe representar más del 50% de la meseta, (ver gráfico 2.11).

2.9.13. Rango

Es aquel que marca el límite entre las autocorrelaciones espaciales estadísticamente significativas y no significativas. En términos prácticos corresponde a la distancia a partir de la cual dos observaciones son independientes.

El rango se interpreta como la zona de influencia. Existen algunos modelos de semivariograma en los que no existe una distancia finita para la cual dos observaciones sean independientes; por ello se llama rango efectivo a la distancia para la cual el semivariograma alcanza el 95% de la meseta. Entre más pequeño sea el rango, más cerca se está del modelo de independencia espacial. El rango no siempre aparece de manera explícita en la fórmula del semivariograma, (ver gráfico 2.11).

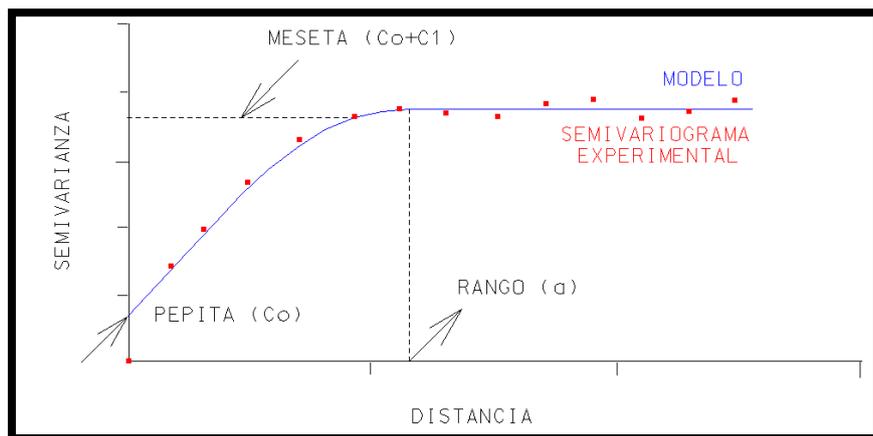


Gráfico 2.12 Comportamiento típico de un semivariograma acotado con una representación de los parámetros básicos.

2.9.14. Modelos teóricos de semivarianza⁵⁴

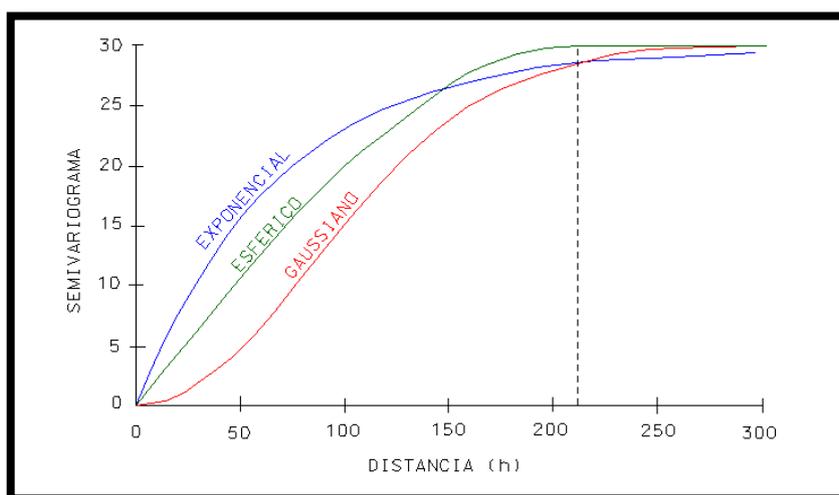


Gráfico 2.13: Comparación de los modelos exponencial, esférico y Gaussiano.

El rango tiene el valor de 210, respecto a una escala simulada 0 y 300, el valor de la meseta es 30 y el de la pepita 0. El 95% de la meseta es igual a 28,5.

1. Modelo esférico

Tiene un crecimiento rápido cerca al origen, pero los incrementos marginales van decreciendo para distancias grandes, hasta que para distancias

⁵⁴GIRALDO, Ramón, Introducción a la Geoestadística, Teoría y Aplicación, Universidad Nacional de Colombia, p. 27 p.28

superiores al rango los incrementos son nulos (ver gráfico 2.12). Su expresión matemática es la siguiente:

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] & h \leq a \\ C_0 + c_1 & h > a \end{cases}$$

Donde,

C_0+C_1 , representa la meseta.

a , el rango.

h , la distancia.

2. Modelo exponencial

Este modelo se aplica cuando la dependencia espacial tiene un crecimiento exponencial respecto a la distancia entre las observaciones. El valor del rango es igual a la distancia para la cual el semivariograma toma un valor igual al 95% de la meseta (ver gráfico 2.12). Este modelo es ampliamente usado. Su expresión matemática es la siguiente:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(\frac{-3h}{a}\right) \right]$$

Donde,

C_0+C_1 , representa la meseta.

a , el rango.

h , la distancia.

3. Modelo Gaussiano

Al igual que en el modelo exponencial, la dependencia espacial se desvanece solo en una distancia que tiende a infinito. El principal distintivo de este modelo es su forma parabólica cerca al origen (ver gráfico 2.12). Su expresión matemática es:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(\frac{-h^2}{a^2}\right) \right]$$

Donde,

C_0+C_1 , representa la meseta.

a , el rango.

h , la distancia.

2.9.15. Predicción espacial

Si Z_0 es la cantidad aleatoria y Z^*_0 es su predictor. Entonces la pérdida que se incurre cuando se predice Z_0 con Z^*_0 se representa por:

$$L(Z_0; Z^*_0) = [Z_0 - Z^*_0]^2$$

El predictor óptimo será el que minimice $E[L(Z_0; Z^*_0)/Z]$ con la $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_n\}$, de manera que volviendo a la ecuación anterior se tiene:

$$L(Z_0; Z^*_0) = [Z_0 - Z^*_0]^2 \text{ entonces } Z^*_0 = E(Z_0/Z)$$

Lo que significa que se requiere conocer la distribución conjunta de las variables aleatorias para encontrar el predictor óptimo.

2.9.16. Kriging

La palabra kriging procede del nombre del geólogo sudafricano Krige, quien es considerado como uno de los pioneros en los métodos de interpolación espacial.

Kriging encierra un conjunto de métodos de predicción espacial que se fundamentan en la minimización del error cuadrático medio de predicción.

Los tipos de Kriging lineal son:

- Simple.
- Ordinario.
- Universal⁵⁵.

1. Kriging ordinario

Sea x_i los puntos en la región de estudio con $i=1,2,\dots,n$ y se tienen las realizaciones de las variables $Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_n)$ y se desea predecir $Z(x_0)$ en el punto x_0 donde no hubo medición, de esta manera el método de kriging ordinario propone predecir de la siguiente manera:

$$Z^*_{(x_0)} = \lambda_1 Z(x_1) + \lambda_2 Z(x_2) + \lambda_3 Z(x_3) + \dots + \lambda_n Z(x_n)$$

$$Z^*_{(x_0)} = \sum_i^n \lambda_i Z(x_i)$$

Donde λ_i representa los pesos o ponderaciones de los valores originales. La suma de los pesos debe ser igual a 1 para que la esperanza del predictor sea igual a la esperanza de la variable.

Los pesos que minimizan el error de predicción se determinan mediante la función covariograma a través de:

$$\lambda = C_{ij}^{-1} \cdot C_{i0}$$

Donde $C_{ij} = COV[Z(x_i), Z(x_j)]$.

Este modelo se utiliza cuando el proceso es estacionario de media m desconocida.

2. Kriging simple

Sea $Z(x)$ la variable de interés, la $E[Z(x)] = m$, y $Z(x) = m + \varepsilon(x)$ con $\varepsilon(x) = 0$. El predictor de la variable de interés en un sitio x_0 donde no se tiene información se define por:

$$Z^*_{(x_0)} = m + \varepsilon^*(x_0)$$

Donde, $\varepsilon^*(x_0)$ corresponde a la predicción del error aleatorio en el sitio x_0 :

⁵⁵ GIRALDO, Ramón, Introducción a la Geoestadística, Teoría y Aplicación, Universidad Nacional de Colombia, p. 26 p.27 p.32

$$\varepsilon^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \varepsilon(x_i) = \sum_{i=1}^n \lambda_i (Z(x_i) - m)$$

Despejando la ecuación anterior se tiene:

$$Z^*(x_0) = m + \sum_{i=1}^n \lambda_i \varepsilon(x_i) = m + [\sum_{i=1}^n \lambda_i (Z(x_i) - m)]$$

Los pesos de los errores se obtienen:

$$\lambda = C_{ij}^{-1} \cdot C_{i0}$$

Este modelo se utiliza cuando el proceso es estacionario con media m y covarianzas conocidas.

3. Kriging universal

Sea $Z(x) = m + \varepsilon(x)$ con $(\varepsilon(x)) = 0$ y $V(\varepsilon(x)) = \sigma^2$ el predictor se define:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

Este modelo se emplea cuando el proceso no es estacionario.

CAPITULO 3

MEDICIÓN DE RUIDO EN LAS ZONAS DE ESTUDIO

3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio corresponde a las parroquias urbanas del Cantón Rumiñahui: Sangolquí (cabecera cantonal) y San Rafael.

Se encuentran ubicadas sobre el Valle de los Chillos que forma parte de la Hoya de Guayllabamba, con una altitud de 2500 m y una temperatura agradable que oscila entre los 10°C y 29°C.

Hace algunas décadas la economía de esta región se basaba en la agricultura. Sus plazas y mercados recibían la visita de los habitantes de la capital quienes adquirirían productos alimenticios a bajo precio. Por la producción del maíz de chillo (de grano grande y amarillo) recibió el calificativo del granero de Quito.

También es conocido por ser un destino turístico por excelencia, debido a una amplia gama de atractivos naturales y su gastronomía.

En la última década en el valle de los chillos se vive un importante crecimiento poblacional como resultado de la construcción de múltiples urbanizaciones de diferentes tamaños y acabados.

Así mismo se ha diversificado la oferta comercial especialmente en San Rafael con la construcción de centros comerciales.

3.1.1 Parroquia de San Rafael

Tiene una extensión de 2,35 Km², sus límites son:

Norte y Este: Cantón Quito.

Sur: Parroquia Sangolquí.

Oeste: Parroquia San Pedro de Taboada.

Prevalen una zona comercial y una zona residencial mixta. Si realizamos una analogía con Quito este sector podría compararse con el centro financiero de la capital, pues en su extensión se concentran las principales actividades comerciales y bancarias del Valle de los Chillos.

Las principales arterias viales son la Avenida General Rumiñahui y Avenida General Córdova Galarza que atraviesan esta zona de norte a sur, también se acopla un tramo de la Avenida Ilalo dentro de su extensión.

En esta zona se acumula la mayor cantidad de tráfico vehicular diurno y nocturno debido a la falta de vías de descongestionamiento vehicular.

Destaca la Avenida General Rumiñahui siendo la ruta principal que une el Valle de los Chillos con el Distrito Metropolitano de Quito y que soporta a diario 50.265 viajes de vehículos livianos y 4.564 de buses⁵⁶.

Esto ocasiona que la parroquia San Rafael sea paso obligatorio hacia y desde los diferentes destinos del Valle de los Chillos por motivos de trabajo, estudio, esparcimiento y turismo.

3.1.2 Parroquia Sangolquí

Es la Cabecera Cantonal del Cantón Rumiñahui, tiene una extensión aproximada de 50 km², sus límites son:

Norte: Parroquia San Rafael y San Pedro de Taboada.

Sur: Parroquia Cotogchoa y Rumipamba.

Este y Oeste: Cantón Quito.

⁵⁶ http://www.automagazine.ec/autos-industria/industria-articulos/noticias/4/pichincha_tendra_tren_elevado_entre_los_chillos_y_quito_en_el_2015.html

Posee un centro histórico en el cual se ubica la infraestructura administrativa del Cantón, centros de educación básica y secundaria, mercados y almacenes. También existen lugares para la recreación y deporte así como una variada oferta gastronómica.

Las principales vías de la Parroquia Sangolquí son la Avenida General Rumiñahui, Avenida General Córdova, Avenida Intervalles y Avenida Abdón Calderón. El tráfico vehicular se concentra en el Centro Histórico.

3.2. MÉTODO DE MEDICIÓN

Para realizar las mediciones se tomó como referencia el procedimiento descrito en el Texto unificado de legislación ambiental secundario (T.U.L.A.S): LIBRO VI: ANEXO 5: Lit. 4.1.2: *“De la medición de niveles de ruido producidos por una fuente fija”*, que indica:

“4.1.2.1 La medición de los ruidos en ambiente exterior se efectuará mediante un decibelímetro (sonómetro) normalizado, previamente calibrado, con sus selectores en el filtro de ponderación A y en respuesta lenta (slow). Los sonómetros a utilizarse deberán cumplir con los requerimientos señalados para los tipos 0, 1 ó 2, establecidas en las normas de la Comisión Electrotécnica Internacional (International Electrotechnical Commission, IEC). Lo anterior podrá acreditarse mediante certificado de fábrica del instrumento.

4.1.2.2 El micrófono del instrumento de medición estará ubicado a una altura entre 1,0 y 1,5 m del suelo, y a una distancia de por lo menos 3 (tres) metros de las paredes de edificios o estructuras que puedan reflejar el sonido. El equipo sonómetro no deberá estar expuesto a vibraciones mecánicas, y en caso de existir vientos fuertes, se deberá utilizar una pantalla protectora en el micrófono del instrumento.

4.1.2.4 Medición de Ruido Fluctuante.- se dirige el instrumento de medición hacia la fuente y se determinará el nivel de presión sonora equivalente durante un período de, por lo menos, 10 (diez) minutos de medición en el punto seleccionado. “.

3.3. DESCRIPCIÓN DEL SONÓMETRO QUEST SOUNDPRO SP DL 1-1/3

3.3.1 Descripción técnica del sonómetro SoundPro SP DL 1-1/3

El sonómetro Sound Pro SE/DL posee las siguientes características:

- a. Modelo: Sonómetro SoundPro SP DL 1-1/3, tipo 1.
- b. IEC 61672-1-2002: Clase 1. La I.E.C (Comisión Electrotécnica Internacional) establece normas de estándar para los instrumentos de medición del sonido, dentro de la cual se encuentra la norma IEC 61672-1-2002, que en su parte importante establece los siguientes parámetros de acuerdo a la tabla 3.2:

Tabla 3.1: Tolerancias permitidas para los distintos tipos o clases definidas por la IEC 61672-1-2002⁵⁷.

CLASE	CALIBRADORES	SONÓMETROS
0	+/- 0.15	+/- 0.4
1	+/- 0.3	+/- 0.7
2	+/- 0.5	+/- 1

El sonómetro SoundPro SP DL 1-1/3 es un sonómetro clase 1 por lo tanto tiene una precisión para la toma de datos en campo de +/- 0,7 dB(A).

- c. El Sonómetro SoundPro SP DL 1-1/3, tipo 1, tiene la capacidad de efectuar un análisis de bandas de octava o de tercio de octava.
- d. Presenta datos estadísticos de acuerdo a lo programado.
- e. Capacidad de programación y almacenamiento de manera frecuente una vez cada segundo o una vez cada hora.
- f. La interfaz con el usuario es realizado a través de una pantalla grande con botones de operación y puertos de conexión en la base

⁵⁷ <http://www.iec.ch/about/values/>

del instrumento, que sirve para realizar la descarga de los datos tomados en campo.

3.3.2 Partes del sonómetro SoundPro SP DL 1-1/3

El sonómetro SoundPro SP DL 1-1/3 se compone de las siguientes partes:

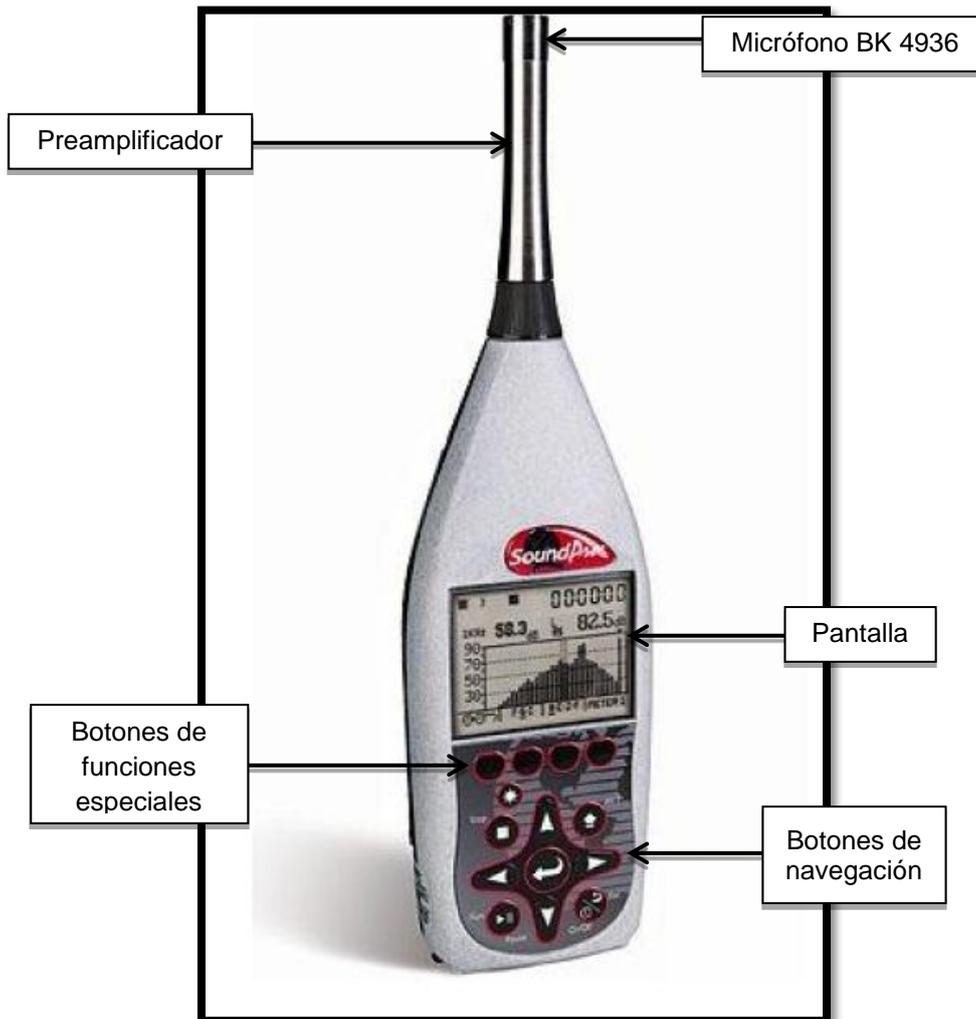


Foto 3.1: Sonómetro Quest SundPro SP DL 1-1/3⁵⁸.
Fecha: 09-04-2012, Fuente: Quest-Technologies.

3.3.3 Interfaces de hardware

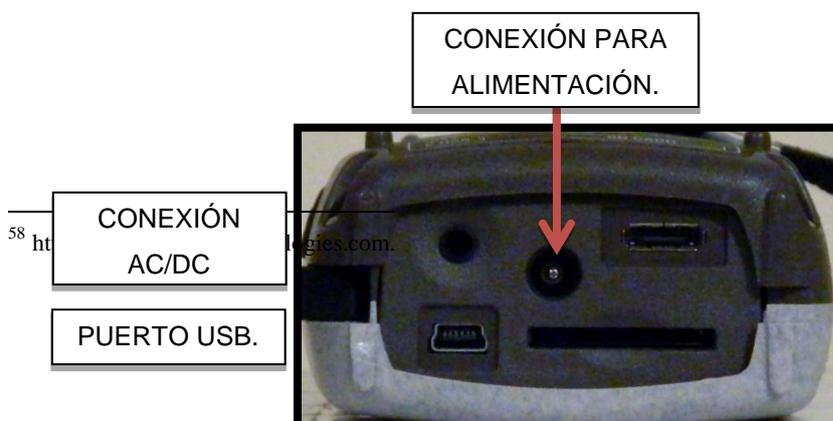




Foto 3.2: Interfaces de Hardware.
Fecha: 19-05-2012, Fuente: Autores.

3.3.4 ACCESORIOS DEL SONÓMETRO SOUNDPRO SP DL 1-1/3

Los accesorios que necesita el sonómetro SoundPro SP DL 1-1/3 para su funcionamiento y almacenamiento de datos son:

- a. Pantalla protectora de micrófono WS-7 (foto 3.3: Pantalla protectora).



Foto 3.3: Pantalla protectora WS-7.
Fecha: 19-05-2012, Fuente: Autores.

- b. Baterías alcalinas (foto 3.4: Baterías alcalinas).



Foto 3.4: Baterías alcalinas.
Fecha: 19-05-2012, Fuente: Autores.

- c. Memoria extraíble.

Para su funcionamiento y operación ver Anexo 1: “MANUAL TÉCNICO PARA EL MANEJO DEL SONÓMETRO QUEST SOUNDPRO SP DL 1-1/3 Y

MANEJO DEL SOFTWARE “LAUNCH .SES TO XLS.exe” PARA LA CONVERSIÓN DE ARCHIVOS NATIVOS .SES A .XLS.

3.4. TOMA DE MEDICIONES EN CAMPO

3.4.1 Software, equipos y materiales

- a. Arc Gis 9.3
- b. Sonómetro SoundPro SP DL 1-1/3.
- c. Calibrador Quest QC-20.
- d. GPS Garmin.
- e. Trípode.
- f. Cascos.
- g. Chaleco Fluorescente.
- h. Cinta métrica.

3.4.2 Medios de transporte

- a. Bicicleta montañera.
- b. Jeep 4x4

3.4.3 Determinación de los puntos de muestreo

En base a la cartografía digital suministrada por el Ilustre Municipio de Rumiñahui, se delimitó el área de estudio y se determino los puntos de muestreo para el trabajo diurno y nocturno.

3.4.3.1 Determinación de los puntos de muestreo para la toma de datos de ruido diurno

Para la determinación de los puntos de muestreo de ruido diurno, se toma como referencia las vías principales y secundarias de las parroquias de Sangolquí y San Rafael.

Esta acción proporciona la base sobre la cual se van a determinar los puntos de muestreo, lo que da como resultado el mapa 3.1: Mapa de manzanas de las parroquias de Sangolquí y San Rafael.

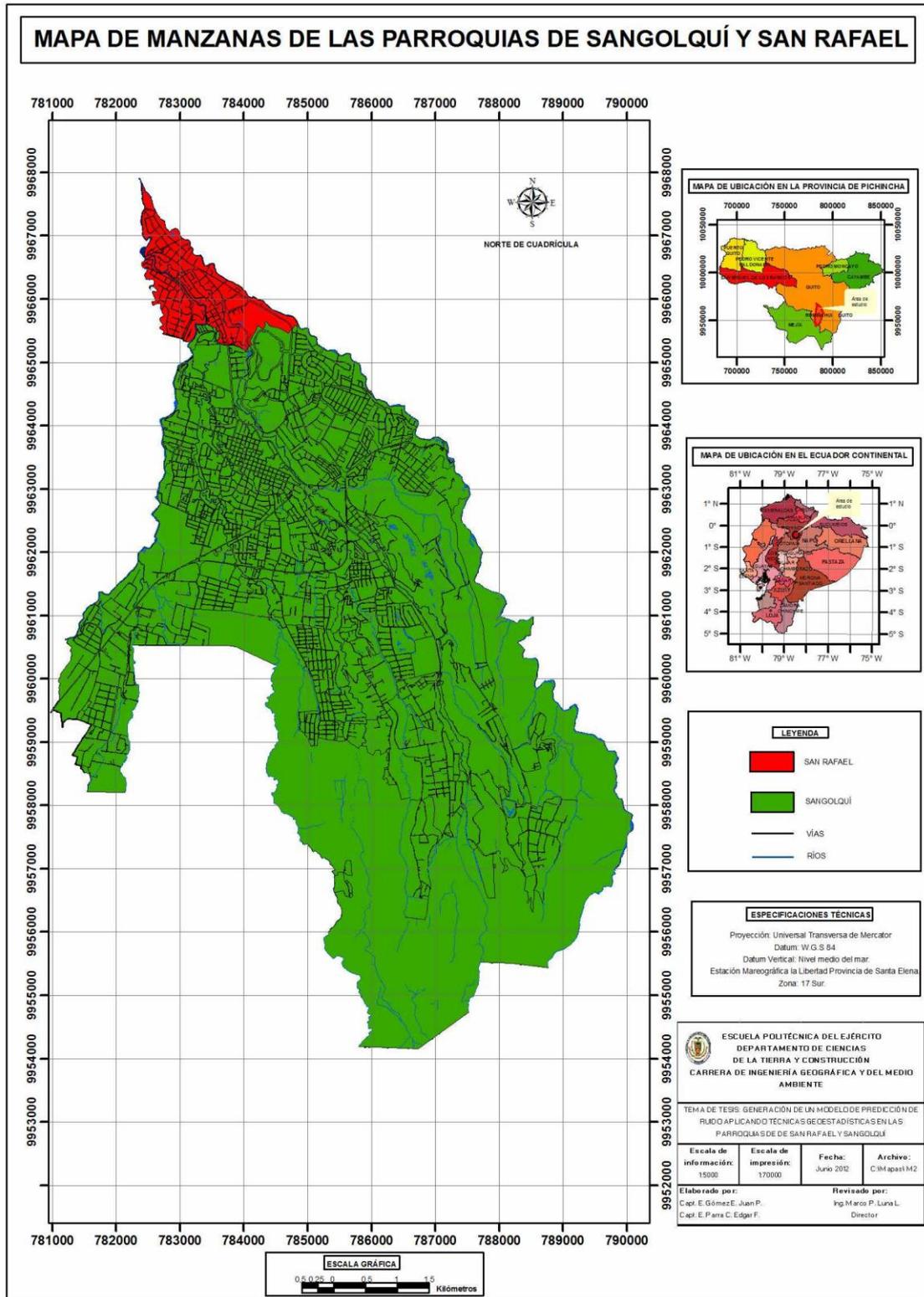
Para definir los puntos de medición en el campo se toma como referencia el mapa 3.1: Mapa de manzanas de las parroquias de Sangolquí y San Rafael, y se divide al área objeto de estudio de la siguiente manera:

- a. Un punto de medición por cada cuadra en la que se intersectan las vías principales y secundarias.
- b. En los casos donde existen vías principales sin secundarias, se toma puntos de medición cada 50 metros.
- c. En el caso donde existen vías secundarias de tercer orden, se tomo puntos de medición cada 80 metros.

Todos estos aspectos dan un total de 630 puntos de medición diurna que se realiza durante la presente investigación.

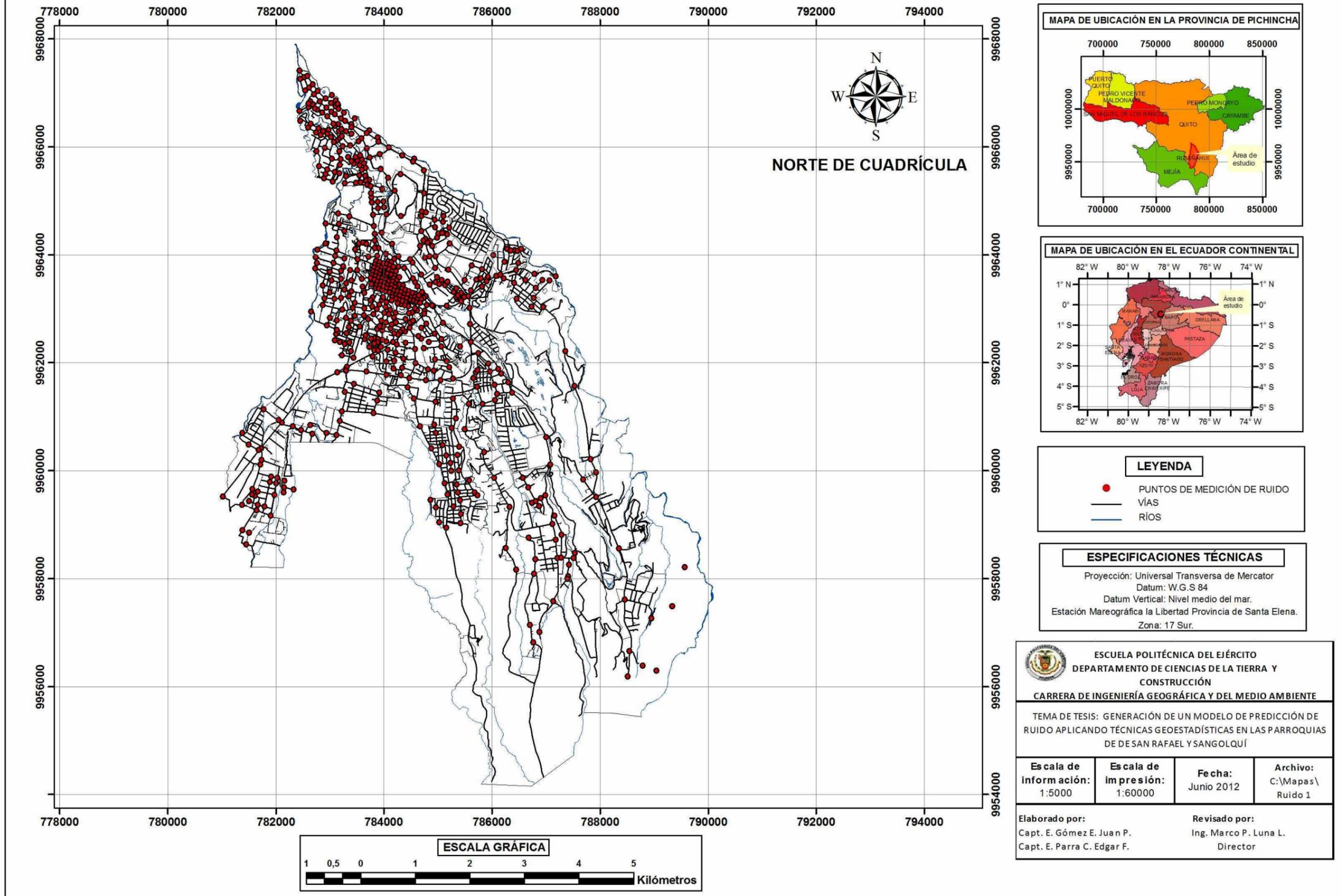
En cada punto de medición, se toma las coordenadas respectivas en WGS-84, Zona 17S.

Resultado de esta acción se obtiene el mapa 3.2: Mapa de ubicación de los puntos de medición de ruido diurno de las parroquias de San Rafael y Sangolquí, en donde se expone los puntos donde se va a realizar las mediciones de ruido diurno.



Mapa 3.1: Mapa de las manzanas de las parroquias de San Rafael y Sangolquí.

MAPA DE PUNTOS DE MEDICIÓN DE RUIDO EN LAS PARROQUIAS DE SAN RAFAEL Y SANGOLQUÍ



Mapa 3.2: Mapa de ubicación de los puntos de medición de ruido diurno de las parroquias de San Rafael y Sangolquí.

3.4.3.2 Determinación de los puntos de muestreo para la toma de datos de ruido nocturno

Para la determinación de los puntos de muestreo de ruido nocturno, se toma como referencia las vías principales y secundarias de la parroquia de San Rafael.

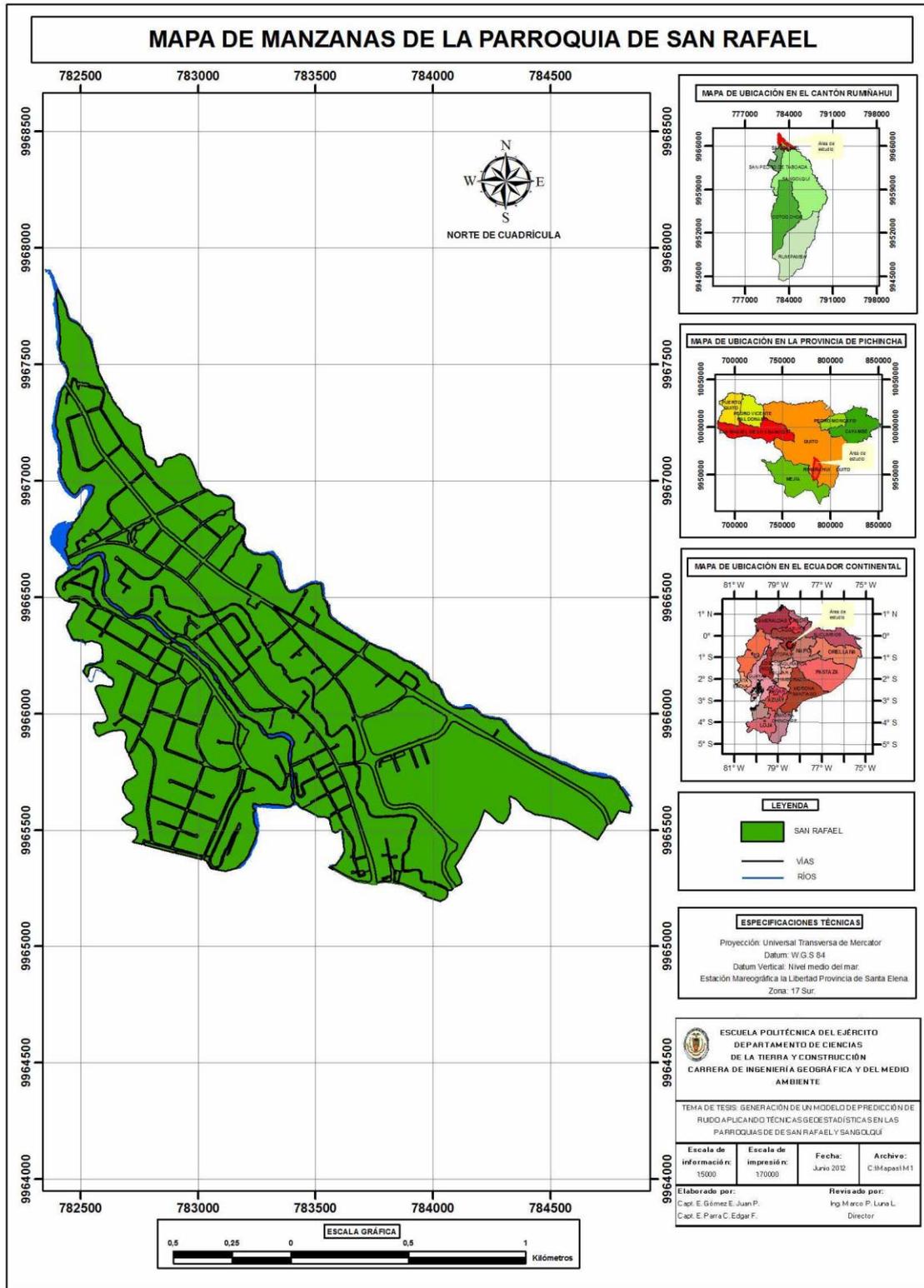
Esta acción proporciona la base sobre la cual se van a determinar los puntos de muestreo, lo que da como resultado el mapa 3.3: Mapa de manzanas de la parroquia de San Rafael.

Para definir los puntos de medición en el campo se toma como referencia el mapa 3.3: Mapa de manzanas de la parroquia de San Rafael, tomando en cuenta que la parroquia de San Rafael la mayoría de las vías son primer orden y segundo orden. Se toma en cuenta los siguientes aspectos:

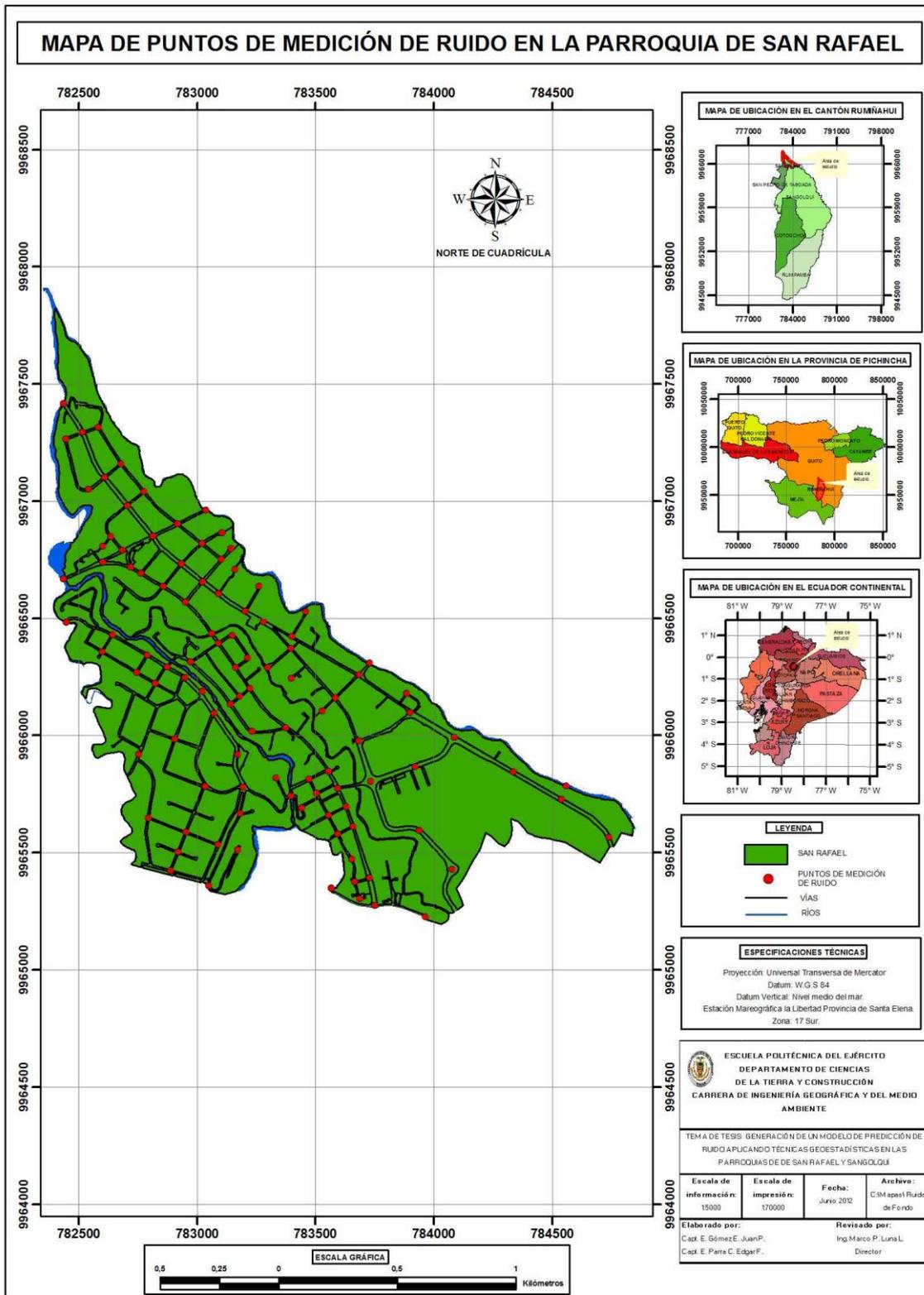
- a. Un punto de medición por cada cuadra en la que se intersectan las vías principales y secundarias.
- b. En los casos donde existen vías principales sin secundarias, se tomo puntos de medición cada 50 metros.
- c. En cada punto de medición se tomo las coordenadas respectivas en WGS-84, Zona 17S.

Todos estos aspectos dan un total de 107 puntos de medición nocturna que se realiza durante la presente investigación.

Resultado de esta acción se obtiene el mapa 3.4: Mapa de ubicación de los puntos de medición de ruido nocturno de la parroquia San Rafael, en donde se expone los puntos donde se va a realizar las mediciones de ruido nocturno.



Mapa 3.3: Mapa de las manzanas de la parroquia San Rafael.



Mapa 3.4: Mapa de ubicación de los puntos de medición de ruido nocturno de la parroquia San Rafael.

3.4.4 Determinación del ruido de fondo

El ruido de fondo es aquel ruido que prevalece en ausencia del ruido generado por la fuente objeto de evaluación. Para el análisis del ruido de fondo se lo realiza de acuerdo al numeral 4.1.2.8 del anexo 5 del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (T.U.L.A.S), que expresa:

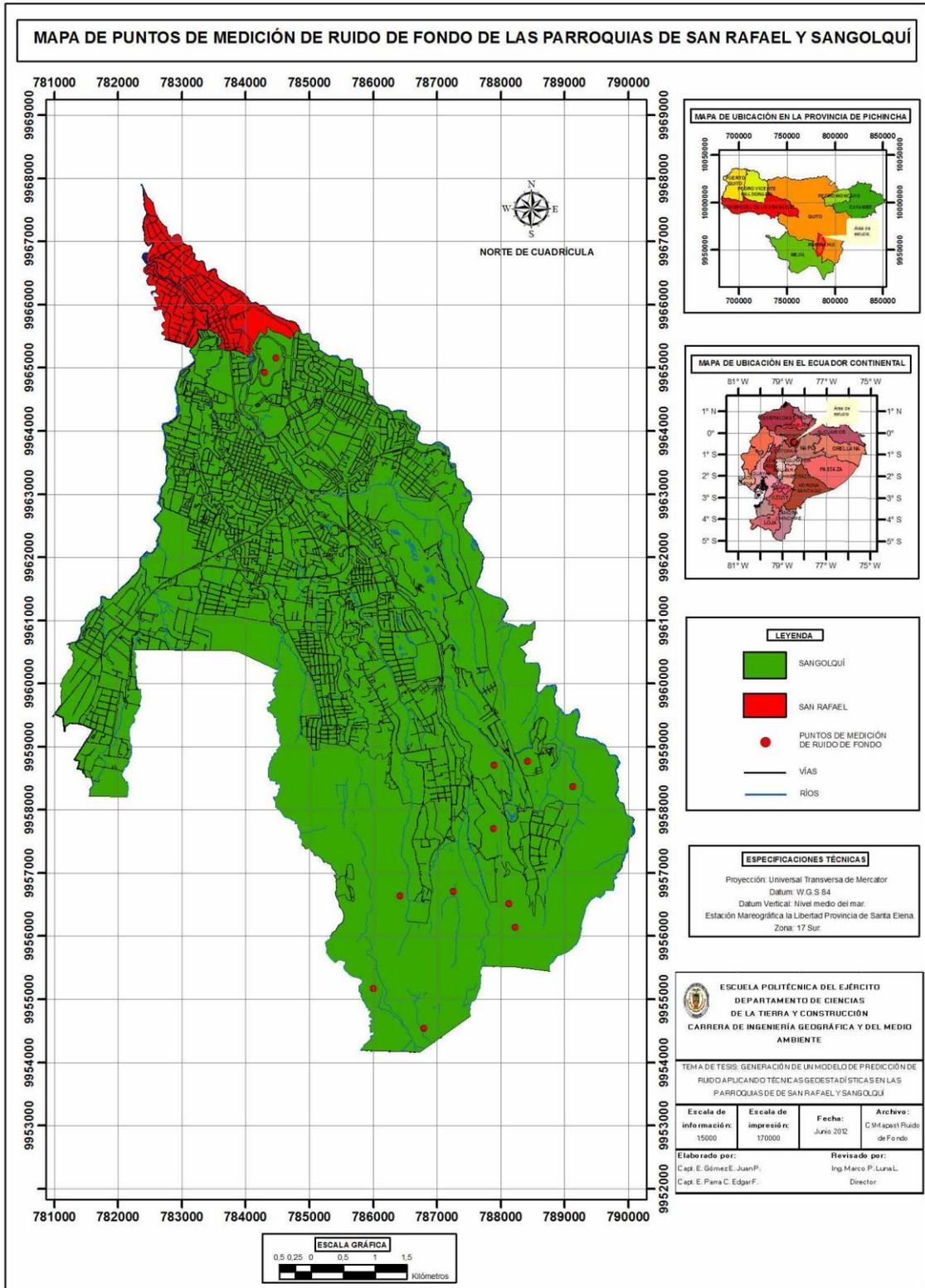
“Para determinar el nivel de ruido de fondo, se seguirá igual procedimiento de medición que el descrito para la fuente fija, con la excepción de que el instrumento apuntará en dirección contraria a la fuente siendo evaluada, o en su lugar, bajo condiciones de ausencia del ruido generado por la fuente objeto de evaluación. Las mediciones de nivel de ruido de fondo se efectuarán bajo las mismas condiciones por las que se obtuvieron los valores de la fuente fija. En cada sitio se determinará el nivel de presión sonora equivalente, correspondiente al nivel de ruido de fondo, se recomienda utilizar un período de medición de 10 (diez) minutos y máximo de 30 (treinta) minutos en cada sitio de medición.”

La evaluación de los puntos de ruido de fondo se lo realizó en la Hacienda del I.A.S.A.1 y en la Escuela Politécnica del Ejército a partir de las 22:00 p.m, debido a que en esa hora existe la ausencia de ruido y condiciones normales del lugar.

Se determinó 12 puntos de medición de ruido de fondo: 10 puntos evaluados en la Hacienda del I.A.S.A 1 y 2 puntos en la Escuela Politécnica del Ejército sector cancha de futbol nueva.

Esta evaluación proporciona un valor promedio de ruido de fondo de 18,24 dB(A).

Este análisis da como resultado el mapa 3.5: Mapa de ubicación de los puntos de medición de ruido de fondo.



Mapa 3.5: Mapa de ubicación de los puntos de medición de ruido de fondo.

3.4.5 Procedimiento para la toma de mediciones de campo

- a. Para la ubicación de los puntos de medición, se hizo un reconocimiento del área durante 10 días laborables, con el fin de determinar la localización exacta de cada uno de los puntos definidos en el mapa de muestreo numeral 3.4.4.
- b. El trabajo de campo se realizó entre los meses de Noviembre del 2011 y Marzo 2012.
- c. Se definieron dos turnos de medición (dos sesiones diarias):
 1. Sesión 1: diurna: 06:00 a 09:00 a.m.
 2. Sesión 2: nocturno: 08:00 a 22:00 a.m.
- d. Método de medición de acuerdo al numeral 3.2 “*Métodos de medición*”.
- e. Para el estudio se contó con un sonómetro, lo que permitió evaluar de 10 a 15 puntos diarios.
- f. Antes y después de cada sesión durante la jornada de trabajo, se realiza la calibración del equipo (Anexo 1: MANUAL TÉCNICO PARA EL MANEJO DEL SONÓMETRO QUEST SOUNDPRO SP DL 1-1/3 Y MANEJO DEL SOFTWARE “LAUNCH SES TO XLS.EXE” PARA LA CONVERSIÓN DE ARCHIVOS NATIVOS .SES A .XLS), como se ilustra en la foto 3.5:



**Foto 3.5: Calibración de sonómetro en campo.
Fecha: 10-12-2011, Fuente: Autores.**

- g. A continuación como se muestra en la foto 3.6, se procede a armar el trípode e instalar el sonómetro para la medición:



Foto 3.6: Instalación trípode - sonómetro.
Fecha: 10-12-2011, Fuente: Autores.

- h. Inmediatamente se incorpora el G.P.S para la toma de coordenadas como se observa en la foto 3.7:

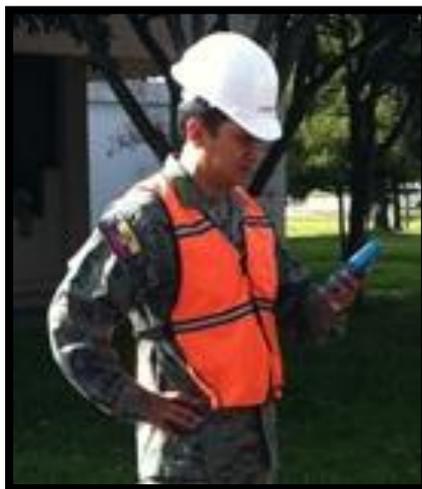


Foto 3.7: Medición con G.P.S.
Fecha: 10-12-2011, Fuente: Autores.

- i. Para realizar las mediciones de campo con el sonómetro SoundPro SP DL 1-1/3, en la Tabla 3.3, se muestra las condiciones con las que se trabajo el equipo:

Tabla 3.2: Condiciones de trabajo del sonómetro SoundPro SP DL 1-1/3

PROGRAMACIÓN	CONDICIONES DE TRABAJO
<u>Filtro de ponderación o curva de ponderación:</u>	A
<u>Respuesta de tiempo:</u>	S
<u>Tiempo de muestreo en cada punto:</u>	10 minutos
<u>Banda escogida:</u>	1/1 (Filtrado de bandas de octava)
<u>Sonómetro:</u>	Clase I
<u>Calibración del sonómetro:</u>	Frecuencia: 250 Hz. Decibeles: 94 dB.
<u>Programación en AVG:</u>	ON, para que nos proporcione el promedio del nivel de presión acústica en dB(A).
<u>Intervalo de almacenamiento:</u>	1 minuto.
<u>Tasa de intercambio:</u>	3 dB(A).

- j. Se configura el tiempo de toma para cada estudio, para lo cual se utiliza el cronómetro que posee el equipo. Cada estudio en el campo se lo realizo durante 10 minutos en cada punto.
- k. Transcurrido el tiempo de 10 minutos se tiene el nivel de presión sonora equivalente en dB(A), el mismo que se almacena en el equipo. A continuación se procede al siguiente punto para realizar la toma del siguiente dato.

- I. Paralelamente se toma los datos de ruido de fondo, en 12 lugares como se ilustra en el mapa 3.5: Mapa de ubicación de los puntos de medición de ruido de fondo. Para la toma del nivel de presión sonora equivalente en dB(A) del ruido de fondo, se lo realiza de acuerdo a lo estipula en el numeral 4.1.2.8 del anexo 5 del T.U.L.A.S, que se detalla en el numeral 3.4.4.

3.4.6 Procedimiento para el procesamiento de datos de campo

- a. Los datos almacenados en el sonómetro SoundPro SP DL 1-1/3 son bajados a través de la tarjeta de memoria, utilizando para ello el programa Launch SES to XLS.exe (Anexo 1: MANUAL TÉCNICO PARA EL MANEJO DEL SONÓMETRO QUEST SOUNDPRO SP DL 1-1/3 Y MANEJO DEL SOFTWARE “LAUNCH SES TO XLS.EXE” PARA LA CONVERSIÓN DE ARCHIVOS NATIVOS .SES A .XLS), que nos permite convertir los archivos nativos .SES a archivos .XLS.
- b. A los valores de nivel de presión sonora equivalente en dB(A), que se obtuvieron en cada fuente objeto de evaluación, se aplicará la corrección debido a nivel de ruido de fondo.
- c. Para realizar esta corrección se procede a restar el nivel de ruido obtenido en cada una de las fuentes, con los datos de ruido de fondo evaluados.
- d. Para realizar esta sustracción procedemos a transformar los valores de ruido tanto de las fuentes evaluadas como del ruido fondo, a intensidad, mediante la siguiente ecuación:

$$I = 10^{(dB(A)/10)}, \quad \text{Ecuación 3.1}$$

- e. Transformado a intensidad ambos valores se procede a la sustracción, que de acuerdo al T.U.L.A.S (Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario) en el Anexo 5, numeral 4..2.1.8, Tabla 2 establece: *“Al valor de nivel de presión sonora equivalente de la fuente fija se aplicará el valor mostrado en la Tabla 2”*:

TABLA 2
CORRECCIÓN POR NIVEL DE RUIDO DE FONDO

DIFERENCIA ARITMÉTICA ENTRE NPSEeq DE LA FUENTE FIJA Y NPSeq DE RUIDO DE FONDO (dB(A))	CORRECCIÓN
<i>10 ó mayor</i>	<i>0</i>
<i>De 6 a 9</i>	<i>- 1</i>
<i>De 4 a 5</i>	<i>- 2</i>
<i>3</i>	<i>- 3</i>
<i>Menor a 3</i>	<i>Medición nula</i>

- f. Obtenido el valor final procedemos a transformar la intensidad a dB(A), de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$dB(A) = 10 * \log (I), \quad \text{Ecuación 3.2}$$

- g. Con los datos ya corregidos, se procede a realizar el análisis estadístico exploratorio de los datos. Para realizar el análisis exploratorio de datos se utilizó el paquete informático Excel 2007 y el software estadístico SPSS 17. Este análisis nos permitirá identificar: localización, variabilidad, forma y observaciones extremas o datos atípicos.
- h. A continuación se realiza el análisis estructural de los datos (cálculo y modelación de semivariogramas), para lo cual se ingresa los datos al programa Variowin. El programa Variowin es un paquete informático que permite realizar el análisis espacial de datos y el modelado del semivariograma en 2 dimensiones.

- i. Para poder utilizar el programa *Variowin 2.21* y realizar el análisis correspondiente es necesario convertir la base de datos .xls a un archivo .dat. En la figura 3.1: Archivo .dat para *Variowin 2.21*, se presenta como debe estar organizado el archivo .dat para los datos de ruido:

PUNTO	Coordenada ESTE	Coordenada Norte	Promedio del nivel de presión sonora en dB(A). LAVG
1	782341,79	9967929,35	66,8
2	782436,667	9967415,32	82,5
3	782515,31	9967291,571	82,8
4	782583,359	9967314,744	66,7
5	782679,475	9967158,552	70,4
6	782608,485	9967099,51	78,2
7	782706,013	9966980,818	76,9
8	782812,78	9966849,335	81
9	782446,051	9967263,973	62
10	782543,009	9967049,396	66,3
11	783037,53	9966961,275	76,3
12	782775,17	9967040,691	74,8
13	782917,713	9966901,85	72,5
14	783020,796	9966817,877	72,4
15	783106,207	9966864,353	56,4
16	782933,589	9966731,228	75,6
17	783024,047	9966656,008	77,6
18	783102,632	9966751,924	66,2
19	783142,819	9966797,647	58,4
20	783160,713	9966708,838	77,1
21	783091,675	9966603,619	75,3
22	783203,699	9966528,914	76,7
23	783261,982	9966636,582	55,1
24	783279,841	9966484,249	77,4
25	783400,087	9966420,498	73,9

Figura 3.1: Archivo .dat para *Variowin 2.21*.

- j. Organizado el archivo .dat, procedemos a ingresar a los módulos de *Variowin 2.21*:

- a. En el primer módulo: Prevar 2D, permite generar un archivo de distancias con extensión .pcf, para todos los posibles pares de datos existentes en un archivo de datos de extensión .dat. A continuación se expone los pasos a seguir en este módulo:

1. Se ingresa el archivo .dat al módulo *Prevar 2D* figura 3.2: Ingreso del archivo .dat al módulo *Prevar 2D*.

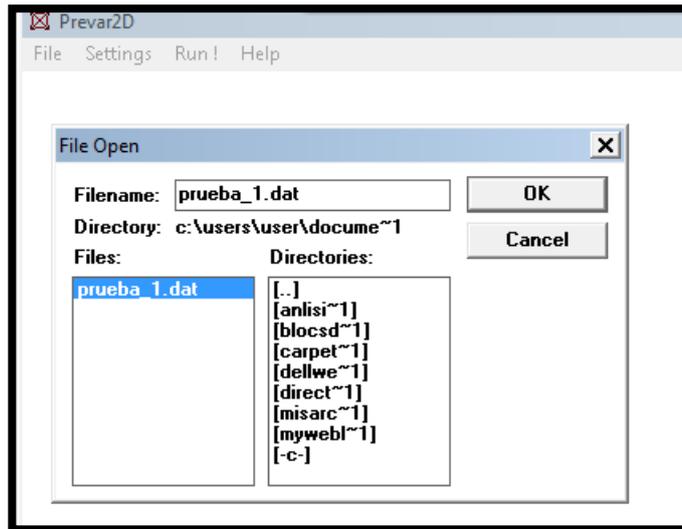


Figura 3.2: Ingreso del archivo .dat al módulo *Prevar 2D*.

2. Ingresado el archivo se despliega el número de datos y el número de variables correspondientes, figura 3.3: Ventana que muestra el número de datos y variables.

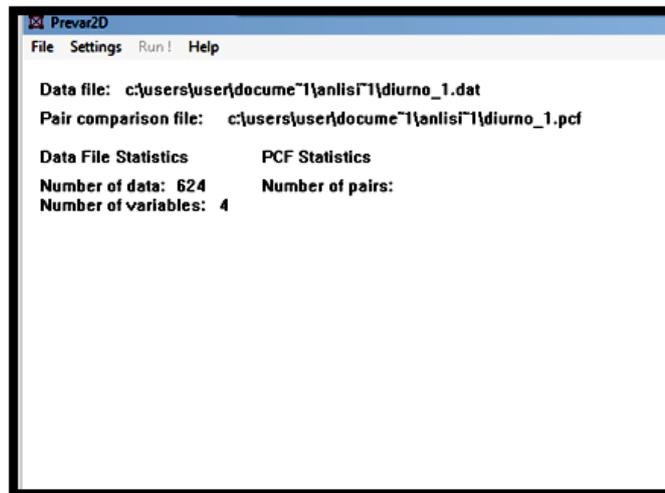


Figura 3.3: Ventana que muestra el número de datos y variables.

3. A continuación se presiona *Setting* y se dirige a *XY – Coordinates*. En esta ventana se procede asignar las correspondientes columnas tanto en ESTE y NORTE para que se encuentren debidamente georeferenciadas, figura 3.4: Ventana en la que asigna las coordenadas ESTE y NORTE del archivo generado.

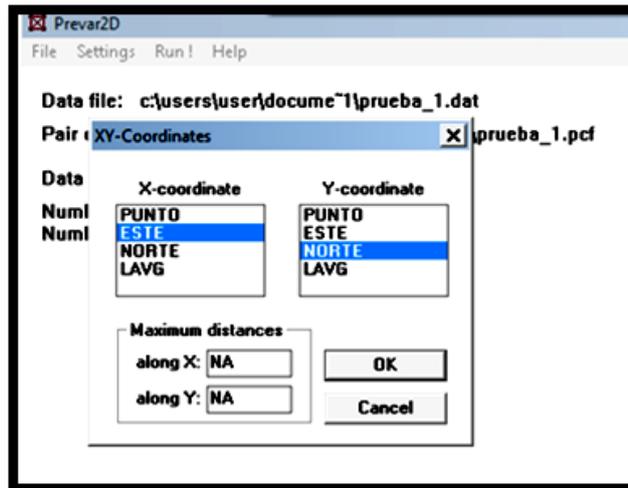


Figura 3.4: Ventana en la que asigna las coordenadas ESTE y NORTE del archivo generado.

- b. El segundo módulo Vario 2D, permite que el archivo de comparación de pares con extensión .pcf originado por el programa Prevar 2D, realice un análisis variográfico exploratorio en 2D. A continuación se expone los pasos a seguir en este módulo:
1. Ingresar el archivo .pcf al módulo *Vario 2D*, figura 3.5.

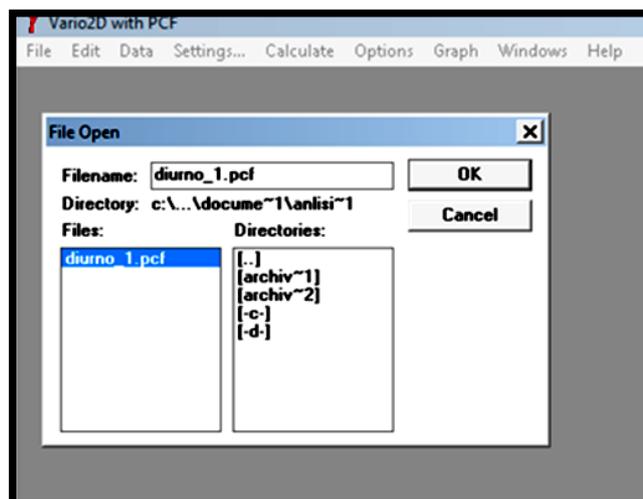


Figura 3.5: Ingreso del archivo .pcf al módulo *Vario 2D*.

2. Presionar *OK* y dirigirse a *Calculate / Directional Variogram*; se nos despliega la siguiente ventana, figura 3.6: Ventana *Direct Directional Variogram*.

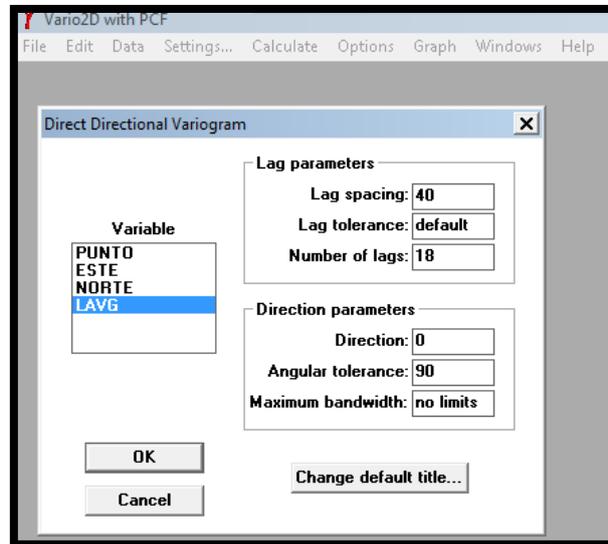


Figura 3.6: Ventana *Direct Directional Variogram*.

En esta ventana se ingresa la variable a analizar *LAVG*, el *Lag spacing* y el *Number of lags*. Para determinar el *Lag spacing* y *Number of lags*, debemos calcularlos de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$lag\ size \times number\ lag = \frac{1}{2} \text{ distancia máxima}$$

Para determinar la distancia máxima ingresar a *Variogram Cloud/Maximun distance*. En este parámetro exageramos la distancia y automáticamente el programa nos da la distancia máxima para los análisis correspondientes.

3. Ingresados estos datos, presionar *OK* y se calcula automáticamente el semivariograma experimental, desplegándole automáticamente, Gráfico 3.1: Semivariograma experimental para los niveles promedios de presión sonora equivalente en dB(A) diurnos.

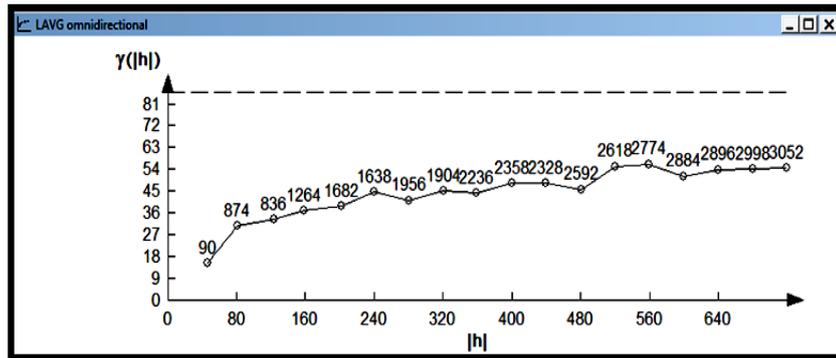


Gráfico 3.1: Semivariograma experimental para los niveles promedio de presión sonora equivalente en dB(A) diurnos.

4. Se procede a guardar el archivo con extensión .var para poder ingresarlo al tercer módulo.

- c. El tercer módulo: Model, permite realizar de manera interactiva el ajuste a un modelo teórico del semivariograma experimental obtenido en el segundo módulo Vario 2D. Los modelos a los que se puede ajustar son: el semivariograma esférico, exponencial, gaussiano y potencia. A continuación se expone los pasos a seguir en este módulo:
 1. Ingresar el archivo .var al módulo *Model*, figura 3.7: Ingreso del archivo .var al módulo *Model*.

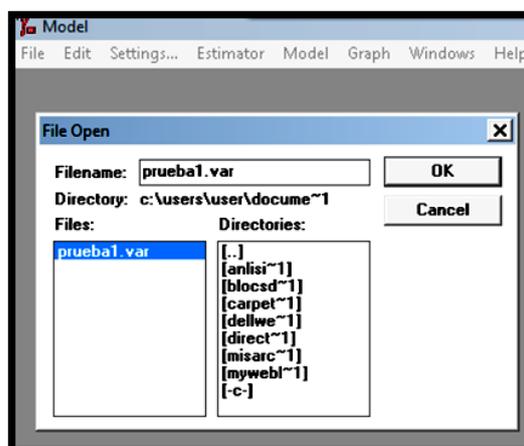


Figura 3.7: Ingreso del archivo .var al módulo *Model*.

2. En esta ventana se despliega los modelos a los que se puede optar con este programa que son: el semivariograma esférico,

exponencial, gaussiano y potencia. La manera de como escoger semivariograma adecuado es a través del índice *IGF* (*Indicative goodness of fit*) el mismo que muestra la calidad del ajuste al variograma experimental y es cuando este índice, que es un número adimensional, sea más próximo a cero.

- Realizado el ajuste a los datos, se obtiene los siguientes resultados:

Semivariograma teórico esférico, gráfico 3.2: Sevariograma teórico esférico.

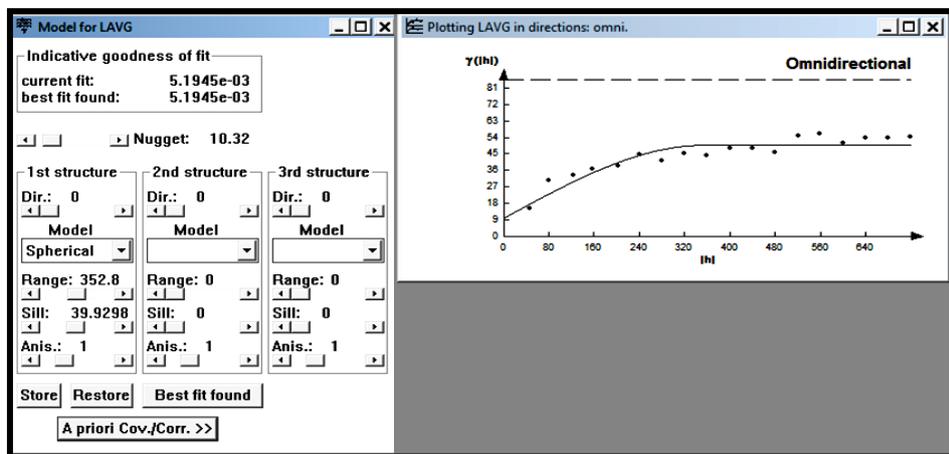


Gráfico 3.2: Semivariograma teórico esférico.

Semivariograma teórico exponencial, gráfico 3.3: Semivariograma teórico exponencial.

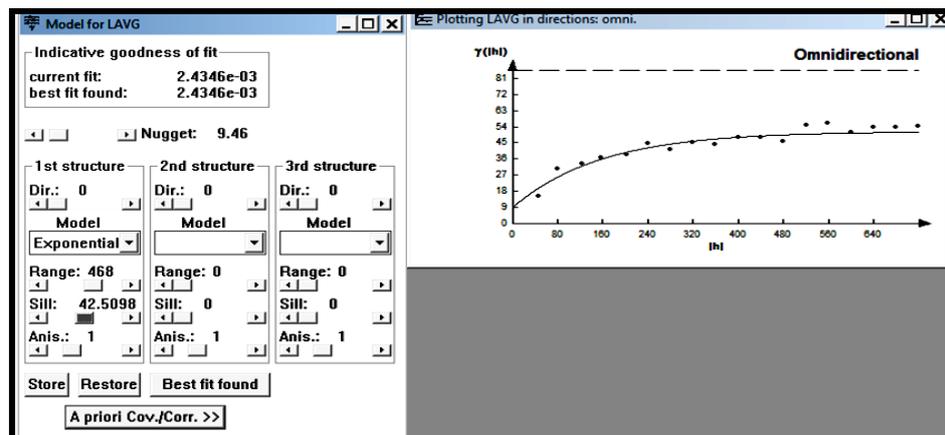


Gráfico 3.3: Semivariograma teórico exponencial.

Semivariograma teórico gaussiano, gráfico 3.4: Semivariograma teórico gaussiano.

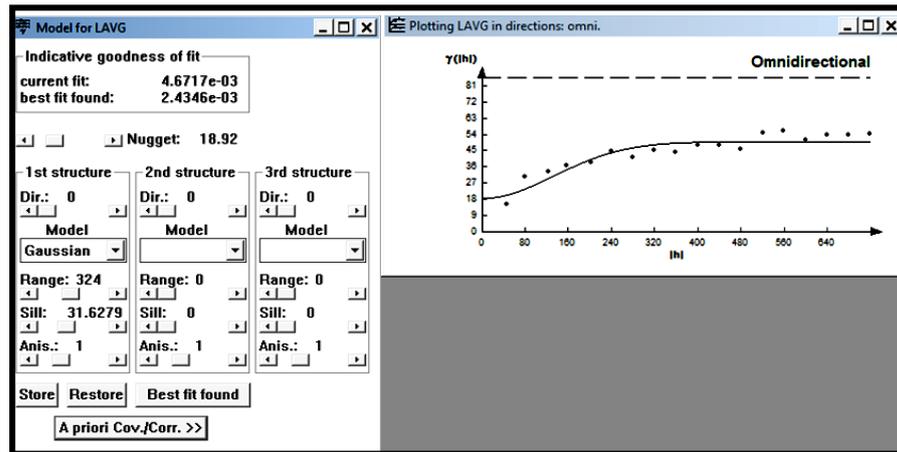


Gráfico 3.4: Semivariograma teórico gaussiano.

El análisis del tercer módulo, permite obtener parámetros del semivariograma modelado a partir del semivariograma experimental; estos parámetros son: Modelo del semivariograma, *Nugget* o efecto pepita, *range* o rango y *sill* o meseta.

- k. Realizado el ajuste del semivariograma y obtenidos los parámetros, a continuación se procede a realizar la predicción espacial utilizando el *software ArcGis 9.3*; a continuación se exponen los pasos a seguir:
 1. Antes de realizar el proceso en el *software ArcGis 9.3*, se debe cargar la tabla de valores con las coordenadas de cada punto y sus respectivos valores del nivel promedio de presión sonora acústica equivalente en dB (A) tomados.
 2. Cargada la tabla en el *software ArcGis 9.3*, dirigirse al comando *Geostatistical Analysis* (Análisis geoestadístico) y dar clic en *Geostatistical Wizard* (Asistente geoestadístico), figura 3.8: Ventana *Geostatistical Wizard*, y seguir los siguientes pasos:

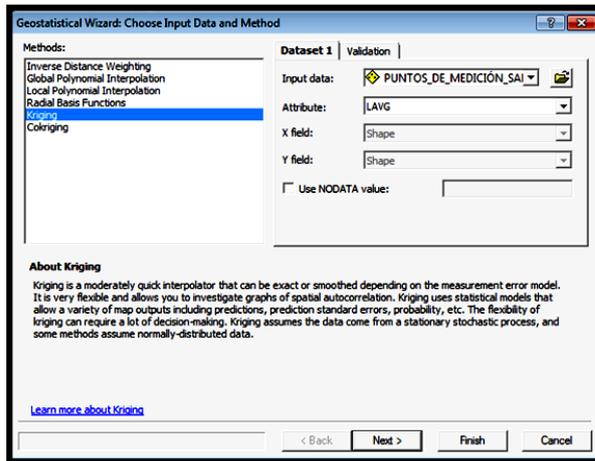


Figura 3.8: Ventana *Geostatistical Wisard*

3. En la ventana de Geostatistical Wisard seleccionar Kriging y en attribute colocar las mediciones de ruido LAVG (Promedio del nivel de presión sonora equivalente en dB(A)) variable a ser analizada. A continuación presionar Next, y se despliega la ventana Geostatistical Method Selection paso 1 de la operación. En esta ventana seleccionar el tipo de Kriging: Ordinary Kriging. En la opción Transformación no se selecciona los datos debido a que no necesitan ser transformados, presionar clic en Next para continuar, figura 3.9: Ventana Geostatistical Method Selection.

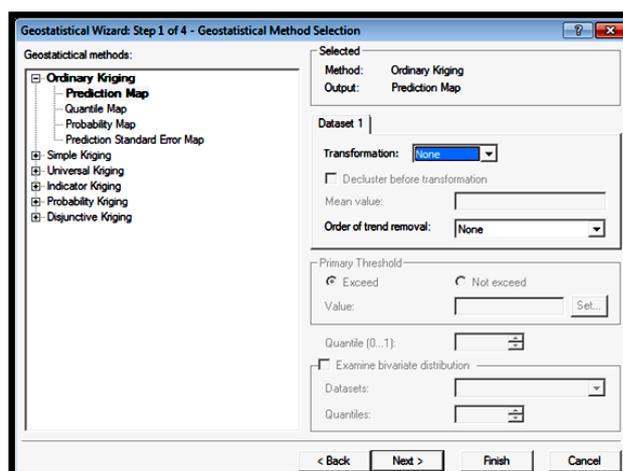


Figura 3.9: Ventana *Geostatistical Method Selection*.

4. En el paso 2, se despliega la ventana *Semivariogram/Covariance Modeling* que consiste en realizar el análisis del semivariograma experimental. En este paso se utiliza los valores obtenidos en el semivariograma teórico obtenido en el módulo *Model* de *Variowin 2.21* y los datos de: *Lag spacing*, *Number lag*, obtenidos en el módulo *Vario 2D*.

No se utiliza los datos proporcionados en la ventana *Geostatistical Wizard* debido a que generan modelos de menor calidad, a continuación damos un clic en *Next*, gráfico 3.5: Ventana *Selection Semivariogram/Covariance Modeling*.

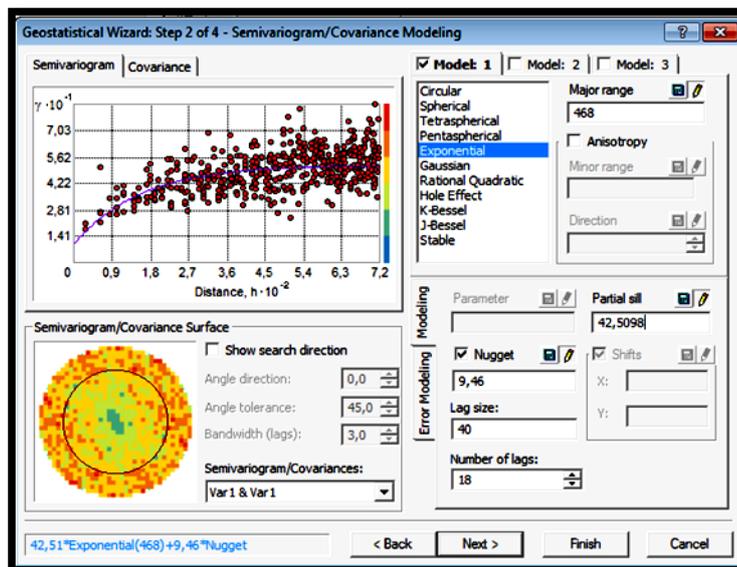


Gráfico 3.5: Ventana *Selection Semivariogram/Covariance Modeling*.

5. En el paso 3, se despliega la ventana *Searching Neighborhood*, que muestra los vecinos que se utilizarán para calcular valores donde no existen mediciones.

La ventana muestra el número de vecinos y la dirección en la que se van a tomar para el cálculo, clic en *Next* para continuar, gráfico 3.6: Ventana *Searching Neighborhood*.

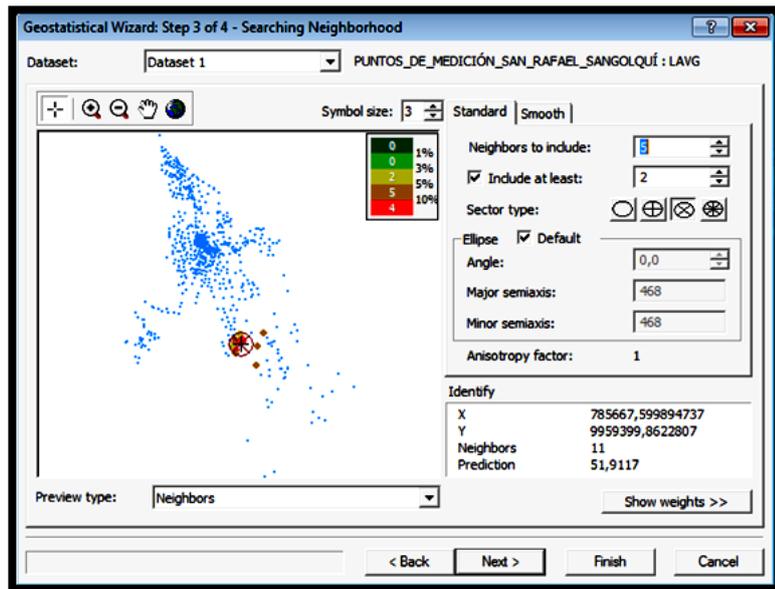


Gráfico 3.6: Ventana *Searching Neighborhood*.

6. En el paso 4, se despliega la ventana *Cross Validation*. En esta ventana se valida la calidad del modelo en el ítem *Prediction errors*.

El *Root-Mean-Square (RMS)* indica la suma de las distancias cuadradas entre los valores medidos y modelados a la raíz. Este parámetro se refiere al modelo concretamente calculado.

El *Average Standard Error (ASE)* indica el error promedio que se comete al calcular un número arbitrario de modelos con los datos. Cuando más cerca estos valores se encuentran a los valores de estos dos parámetros mucho mejor es el modelo.

También se utiliza el *Root Mean Square Standardized (RMSS)*, un *RMSS* que se acerca a 1 indica un buen modelo. Damos clic en *Finish* para finalizar, gráfico 3.7: Ventana *Cross Validation*.

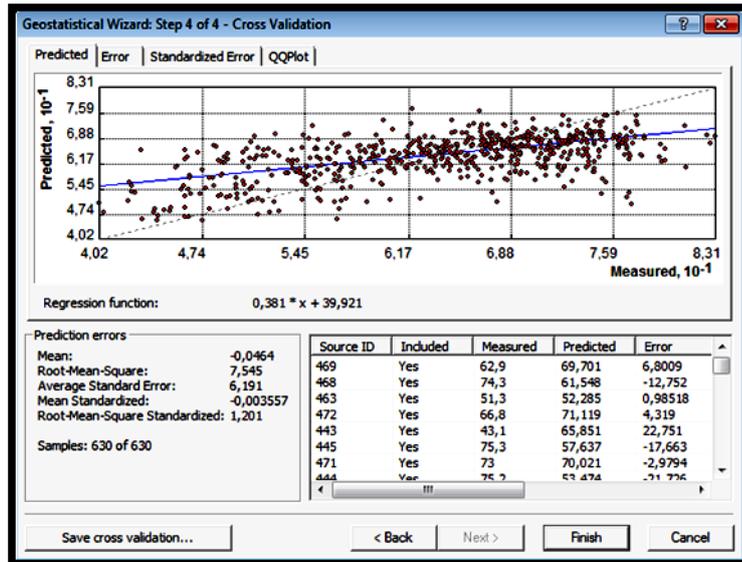


Gráfico 3.7 Ventana *Cross Validation*.

- I. Resultado de estos pasos nos da el mapa de ruido diurno y nocturno en las Parroquias de San Rafael y Sangolquí que presenta la estimación espacial de la variable ruido para cualquier punto en el terreno, figura 3.10: Modelamiento de la variable ruido.

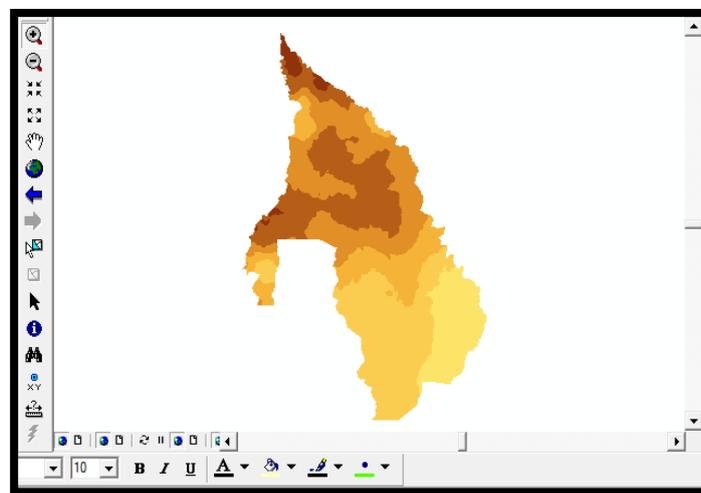


Figura 3.10: Modelamiento de la variable ruido.

- m. Obtenido el mapa de ruido diurno y nocturno, se procede a la verificación del modelo en campo.

CAPITULO 4

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES EMISORAS DE RUIDO

Para determinar las fuentes emisoras de ruido tomamos como referencia la definición de ruido ambiental expresada en Capítulo II, Numeral 2.2.3: “*Ruido ambiental es el ruido emitido por todas las fuentes en el exterior de las áreas de trabajo o vivienda*”.

Tomando como referencia el concepto de ruido ambiental, se procede a clasificar las diversas fuentes emisoras de ruido que aquejan a las parroquias de San Rafael y Sangolquí, y que en su conjunto provocan serios aumentos en los niveles de ruido permitidos en la Ordenanza de Gestión Ambiental del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui.

Las principales fuentes de ruido en las parroquias de San Rafael y Sangolquí son:

1. Tránsito automotor.
2. Construcción.
3. Obras públicas.
4. Vecindario.

Tránsito automotor: Al considerarse a las parroquias de San Rafael y Sangolquí como ciudades satélites de la ciudad de Quito, se aumenta considerablemente el parque automotor debido a que diariamente muchas personas utilizan su vehículo liviano para desplazarse a sus lugares de trabajo en la ciudad de Quito.

En la actualidad las vías de acceso del Cantón Rumiñahui permiten la conexión con la región Sierra y Oriental de nuestro país. En la región Oriental se encuentra infraestructura de interés nacional como es el caso de las petroleras. Se están construyendo obras públicas de interés para el país como

por ejemplo la Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair en Lumbaqui, motivo por el cual vehículos pesados como: volquetas, cabezales con transporte de materiales de construcción y tractores, grúas, utilizan las vías de acceso del cantón Rumiñahui para desplazarse a la región Oriental, teniendo como resultado niveles altos de ruido y congestión vehicular, afectando mayormente a la Parroquia de San Rafael, debido a que es la puerta de ingreso al Cantón Rumiñahui.

Las principales causas de aumento del parque automotor en las parroquias de San Rafael y Sangolquí se exponen en la tabla 4.1.

Tabla 4.1: Causas de aumento del parque automotor en las parroquias de San Rafael y Sangolquí.

PARROQUIA	SECTOR	FOTO	CAUSAS
SAN RAFAEL	El triángulo, Av. Gral. Rumiñahui y Av. Ilalo.		San Rafael es la puerta de entrada y salida del Cantón Rumiñahui de vehículos livianos y pesados. Provocando un embudo vehicular a falta de nuevas vías. En este sector hay niveles de ruido de 108,6 dB(A).
SAN RAFAEL - SANGOLQUÍ	C.C. San Luis. Hipermark et C.C. River Mall.		En los centros comerciales se concentran actividades de comercio y visitas por parte de la ciudadanía de Rumiñahui como la de Quito, lo que aumenta el parque automotor, en especial en la noche. En el sector del C.C San Luis hay niveles de ruido de 91,5 dB(A), en Hipermarket de 96,1 dB(A), River Mall 82,9 dB(A).
SANGOLQUÍ	Paseo escénico		Estudiantes de la E.S.P.E acuden al campus con sus vehículos personales. Existe la

	Sta. Clara ; Av. Gral. Rumiñahui .		presencia masiva de transporte estudiantil (busetas), taxis y público; para suplir necesidades de estudiantes. Existen niveles de ruido de 78,5 dB(A).
SANGOLQUÍ	Centro de la parroquia Sangolquí.		Aquí se concentra el aparato gubernamental de Rumiñahui, por lo que la población acude a realizar sus trámites e incluso se encuentra el mercado municipal, lo que aumenta el parque automotor. Existen niveles de ruido de 86,4 dB(A).
SAN RAFAEL - SANGOLQUÍ	Urbanizaciones en San Rafael y Sangolquí.		La construcción vertiginosa de viviendas en San Rafael y Sangolquí ha provocado que muchos ciudadanos de Quito se trasladen a habitar al Valle de los Chillos. Durante el día acuden al trabajo y durante la noche retornan, provocando serios congestionamientos vehiculares, utilizando la vivienda solo para dormir. Existen niveles de ruido de 82 dB(A).
SAN RAFAEL - SANGOLQUÍ	Vía al Tingo, conexión región Oriental del país.		Diariamente vehículos pesados ingresan por el Sector de San Rafael y salen por las vías de Sangolquí hacia el oriente. Esto ha provocado que exista congestión vehicular y aumente considerablemente el ruido. Existen niveles de ruido de 87,6 dB(A).

SANGOLQUÍ	Panamericana Sur.		<p>Es la vía de conexión hacia la región Sierra del país. Aquí llegan vehículos con víveres y materiales varios Rumiñahui y Quito e incluso para ser trasladados a la región Oriental. Existen niveles de ruido de 82,3 dB(A).</p>
-----------	-------------------	---	--

De acuerdo a los estudios realizados por el Gobierno de la Provincia de Pichincha, estima que entre El Valle de lo Chillos y Quito, se realizan al día 50.265 viajes de vehículos livianos y 4.564 de buses.

Los usuarios de buses por día es de 159.740, por mes 4'951.940 y por año 59'423.280, lo que corrobora que en la actualidad el Valle de los Chillos es considera como ciudad satélite.

Un dato importante que proporciona el INEC es que la población del Valle de los Chillos asciende a 248.000 habitantes, de ello 100.000 personas viven en el cantón Rumiñahui y existe una población flotante diaria adicional de 50 mil personas.

Esto debido a la presencia de la E.S.P.E, Industrias militares y civiles, unidades militares estratégicas, casas comercializadoras de vehículos liviano, pesado y de construcción, centros comerciales; lo que eventualmente al carecer de vías alternas provoca un problema muy serio en el campo del tránsito, motivo por el cual a este punto se lo considera como el que más influye al momento de tomar los datos de ruido en la presente investigación.

Construcción: El ruido provocado por este factor esta directamente relacionado al auge inmobiliario en las parroquias de San Rafael y Sangolquí.

De acuerdo al Colegio de Ingenieros de Rumiñahui, estima que solamente en las parroquias de San Rafael y Sangolquí se ofertan más de 80 conjuntos habitacionales.

El auge comercial presente en las parroquias de San Rafael y Sangolquí es muy notorio. Solamente en San Rafael se ha construido hangares que ofertan vehículos livianos de todas las marcas. En Sangolquí se esta construyendo hangares para la oferta de vehículos pesados a lo largo de la Av. Gral. Rumiñahui desde el colibrí hasta ANDEC.

Los niveles de ruido que genera este tipo de construcciones es de 87,4 dB(A) a 94,7 dB(A).

Obras públicas: El ruido provocado por obras públicas se debe a la ejecución de obras por parte del Municipio en beneficio de la comunidad.

De acuerdo al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui se están realizando las siguientes obras:

- Adoquinado en varios sectores del Cantón.
- Construcción de bordillos varios sectores del Cantón.
- Mantenimiento de adoquinados de varias calles del Cantón.
- Mantenimiento de empedrados, entrega materiales, rompevelocidades, pinturas.
- Cerramiento Esc. Acosta Soberón.
- Colocación cerámica estadio Liga Cantonal de Rumiñahui.
- Trabajos de mantenimiento sub-centro salud Selva Alegre.
- Trabajos casa comunal Urb. Cashapamba.

Todo este tipo de trabajos causan aumento en los niveles de ruido afectando directamente a la población hasta la terminación de dichas obras.

Este tipo de trabajos en especial la de adoquinado, empedrados y construcción de bordillo, en la que se emplean equipo pesado (retroexcavadora), existe niveles de ruido entre 92,6 dB(A) a 100 dB(A).

Vecindario: Este factor se refiere al ruido proveniente de restaurantes, cafeterías, discotecas; música en vivo o grabada; competencias deportivas tales como deportes motorizados; áreas de juegos, estacionamientos y animales domésticos, como el ladrido de los perros.

En San Rafael a lo largo de la calle Geovanni Farina se concentran centros de diversión al igual que en la Av. Gral. Enrriquez, lo que provoca serias molestias a la comunidad que habitan en el sector. En Sangolquí se concentra las competencias motorizadas en el sector de Selva Alegre.

En lo concerniente a restaurantes de comida, estas parroquias ofrecen comida típica lo que provoca la mayor presencia de personas lo que altera la cotidianidad de los sectores. Se detecta un problema muy serio a lo que se refiere a la tenencia de perros. Durante la toma de muestras se evidencio muchas casas tenían de 2 a 5 perros, lo que provoca que se altere el ruido en los sectores estudiados y provoque la incomodidad a los habitantes del sector.

En los sectores donde se encuentra la presencia de perros existe niveles de ruido de 89,9 dB(A). Los lugares donde se ubican los centros de diversión generan niveles de ruido de 77,2 dB(A) a 87,8 dB(A).

4.2 DETERMINACIÓN DEL TIPO DE RUIDO

Para realizar toma de datos se determinó que el tipo de ruido que se va a investigar es de tipo fluctuante que de acuerdo con el Anexo 5 del T.U.L.A.S, numeral 2.10, expresa:

“Ruido Fluctuante: Es aquel ruido que presenta fluctuaciones de nivel de presión sonora, en un rango superior a 5 dB(A) Lento, observado en un período

de tiempo igual a un minuto” y su método para medir es de acuerdo al mismo anexo en su numeral 4.1.2.4 que se detalla en el Capítulo III, numeral 3.4.

4.3 ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO PARA DATOS DE RUIDO DIURNO

4.3.1 Análisis exploratorio de datos de ruido diurno

Para realizar los análisis exploratorios de los datos de ruido diurno se utiliza el software Excel 2007 y el software estadístico SPSS 17.

Del análisis exploratorio de datos diurno se obtiene los siguientes resultados de un conjunto de 630, como se muestra en la tabla 4.2: Estadístico descriptivo para datos de ruido diurno (Promedio del nivel de presión sonora equivalente durante 10 minutos en dB(A)).

Tabla 4.2: Estadístico descriptivo para datos de ruido diurno (Promedio del nivel de presión sonora equivalente durante 10 minutos en dB(A)).

MEDIA	64,1201
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	9,2376
VARIANZA	85,3349
COEFICIENTE DE ASIMETRÍA	- 0,4638
MEDIANA	65,9
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	14,40%
CURTOSIS	-0,65133
MÁXIMO	83,1
MÍNIMO	40,2
MODA	71,3
RANGO	42,9

El coeficiente de variación es de 14,40% lo que indica un valor medio de variación.

La media es de 64,1201 y la mediana es de 65,9 lo que indica que se encuentran próximos.

El coeficiente de asimetría es de -0,4638 lo que indica que tenemos una curva simétrica negativa por lo que los valores se tienden a reunir más en la parte de derecha que en la izquierda de la media.

No existen valores atípicos, ya que los datos se encuentran dentro de los rango de 36,65 y 91,5.

En los siguientes gráficos exploratorios (diagrama 4.1: Histograma de datos de ruido diurno y 4.2: Diagrama de caja de ruido diurno) se puede apreciar los datos expuestos en la tabla 4.2:

Histograma:

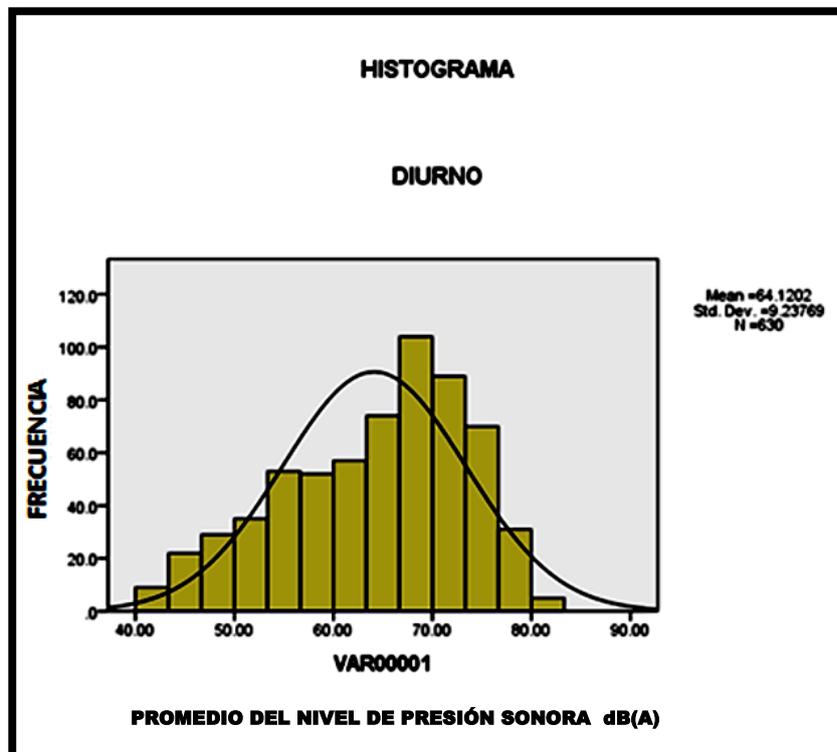


Diagrama 4.1: Histograma de datos de ruido diurno.

Diagrama de caja:

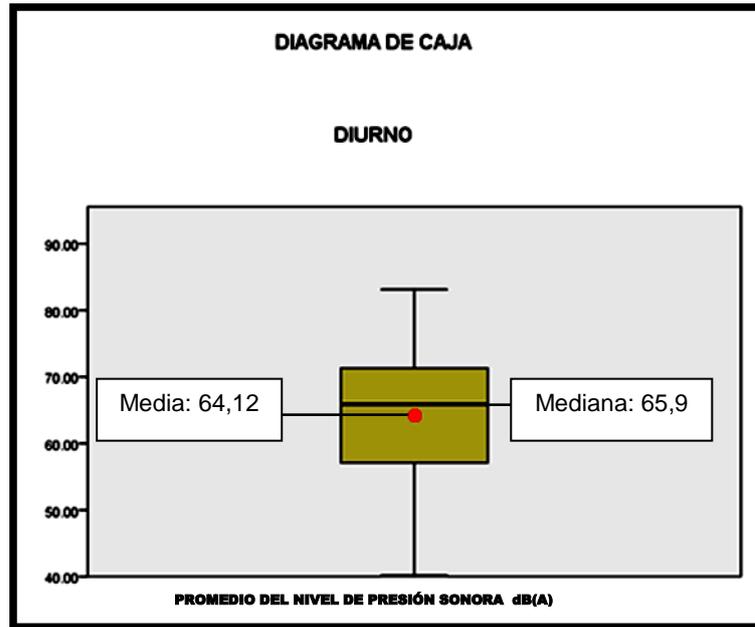


Diagrama 4.2: Diagrama de caja de ruido diurno.

4.3.2 Análisis estructural para datos de ruido diurno

El gráfico 4.1: Semivariograma experimental para los datos de ruido diurno, se expone la representación del semivariograma experimental, en donde la línea entrecortada nos da el valor de la varianza total siendo este de 84,2; la etiqueta en cada punto nos da el valor de pares determinados para esa distancia.

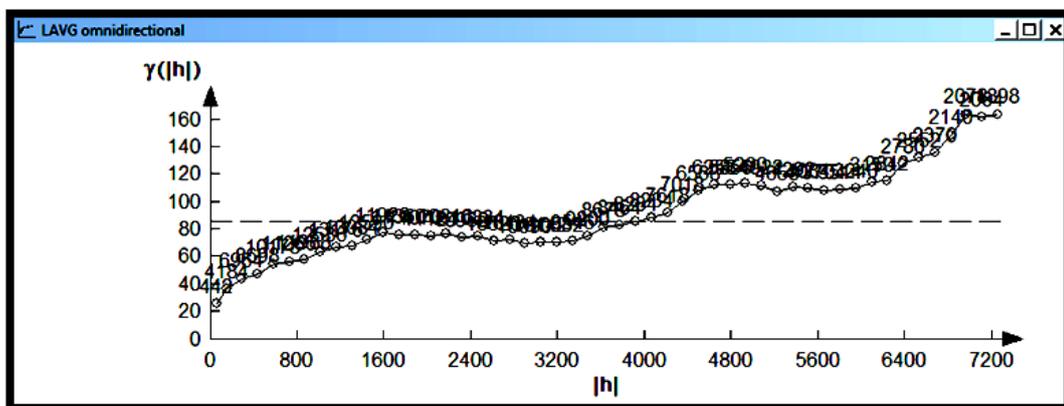


Gráfico 4.1: Semivariograma experimental para los datos de ruido diurno.

Para determinar cual modelo teórico de semivariograma se ajusta más al semivariograma experimental de los datos de ruido diurno, a continuación se analizan cada uno de los modelos:

Modelo teórico exponencial: En el gráfico 4.2: Modelo teórico exponencial para los datos de ruido diurno dB(A), se exponen los parámetros de ajuste al semivariograma experimental de acuerdo a la Tabla 4.3: Parámetros del semivariograma teórico exponencial para datos de ruido diurno dB(A)

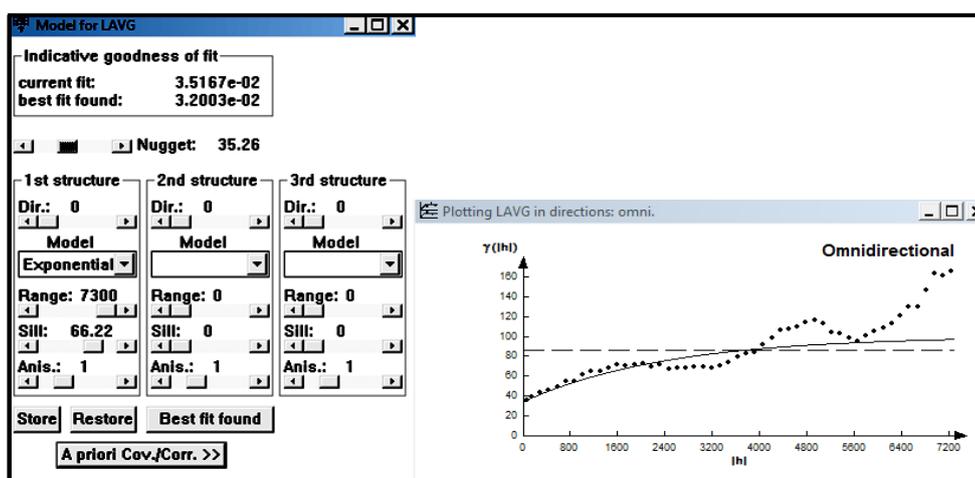


Gráfico 4.2: Modelo teórico exponencial para los datos de ruido diurno dB(A).

Tabla 4.3: Parámetros del variograma teórico gaussiano.

MODELO EXPONENCIAL	
IGF	0,035167
NUGGET (PEPITA)	35,25
RANGE (RANGO)	7300
SILL (MESETA)	101,47
Lag	145,2281
Number Lag	50

Modelo teórico esférico: En el gráfico 4.3: Modelo teórico esférico para los datos de ruido diurno dB(A), se exponen los parámetros de ajuste al

semivariograma experimental de acuerdo a la Tabla 4.4: Parámetros del semivariograma teórico esférico para datos de ruido diurno dB(A)

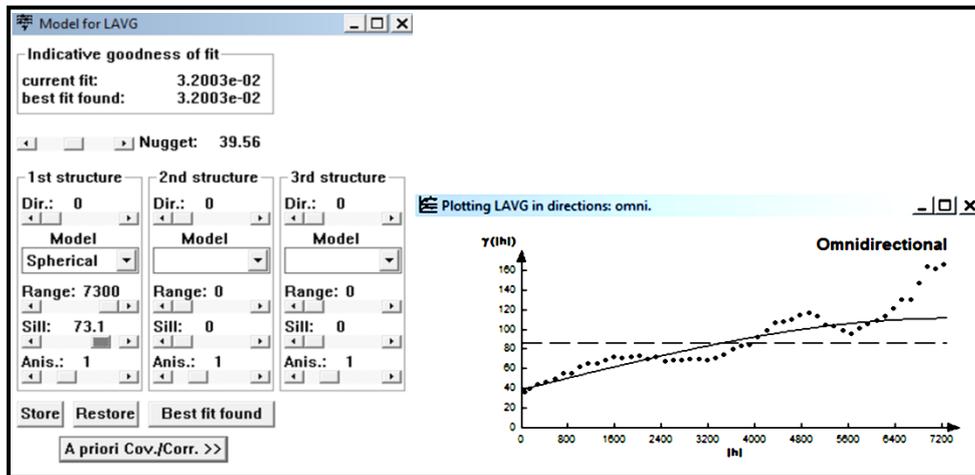


Gráfico 4.3: Modelo teórico esférico para los datos de ruido diurno dB(A).

Tabla 4.4: Parámetros del variograma teórico gaussiano.

MODELO ESFÉRICO	
IGF	0,032003
NUGGET (PEPITA)	39,56
RANGE (RANGO)	7300
SILL (MESETA)	112,66
Lag	145,2281
Number Lag	50

Modelo teórico gaussiano: En el gráfico 4.4: Modelo teórico gaussiano para los datos de ruido diurno dB(A), se exponen los parámetros de ajuste al semivariograma experimental de acuerdo a la Tabla 4.5: Parámetros del semivariograma teórico gaussiano para datos de ruido diurno dB(A)

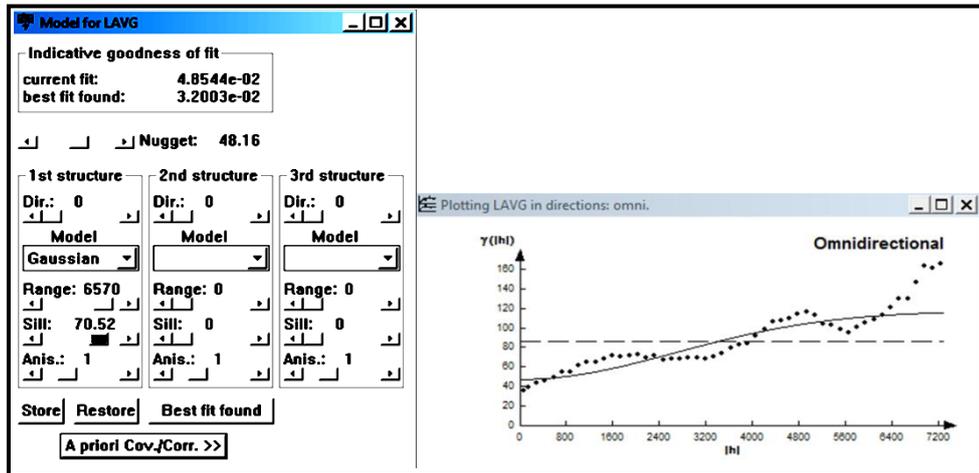


Gráfico 4.4: Modelo teórico gaussiano para los datos de ruido diurno dB(A).

Tabla 4.5: Parámetros del variograma teórico gaussiano.

MODELO GAUSSIANO	
IGF	0,048544
NUGGET (PEPITA)	48,16
RANGE (RANGO)	6570
SILL (MESETA)	118,62
Lag	145,2281
Number Lag	50

De lo analizado anteriormente se puede determinar que el modelo teórico que mejor índice de bondad de ajuste IGF (Indicative goodness of fit) presenta es el modelo esférico con un IGF de 0,03203 que es próximo a cero lo que muestra una muy buena aproximación al semivariograma teórico.

Los parámetros antes calculados permitirán calcular el modelo matemático del semivariograma teórico esférico para los datos de ruido diurno:

$$\gamma(h) = 39,56 + 73,1 \left(\frac{3}{2} \left\langle \frac{h}{7300} \right\rangle - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{7300} \right)^3 \right)$$

4.3.3 Predicción espacial para los para datos de ruido diurno

Ingresado los parámetros del semivariograma teórico al módulo *Geostatistical Wizard*, se genera el mapa 4.1: Mapa de ruido diurno para las parroquias de Sangolquí y San Rafael, con un error medio cuadrático estandarizado de 1,089 que está próximo a cero, lo que indica un buen ajuste de los datos como se expone en el gráfico 4.5: Errores de predicción para datos de ruido diurno.

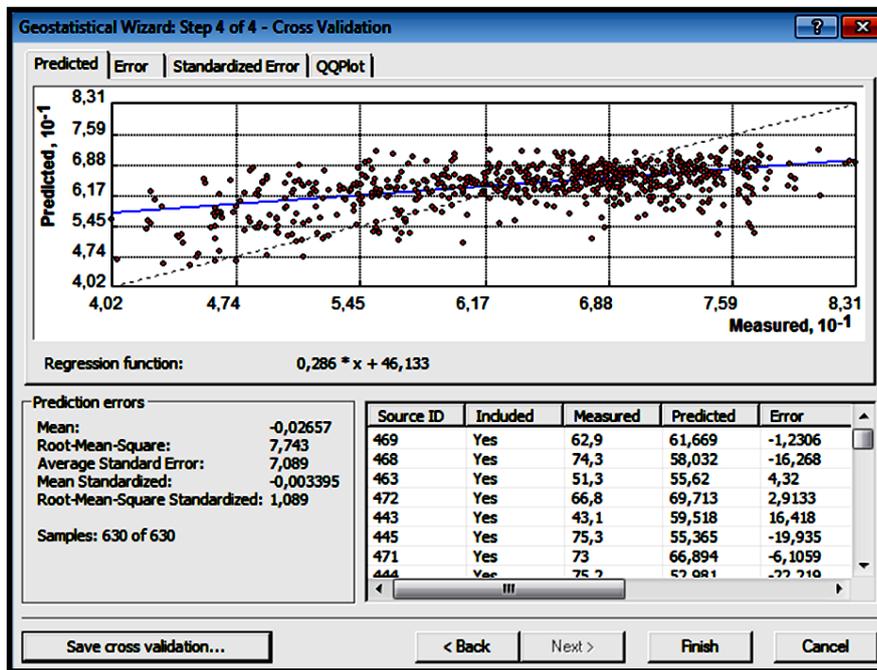
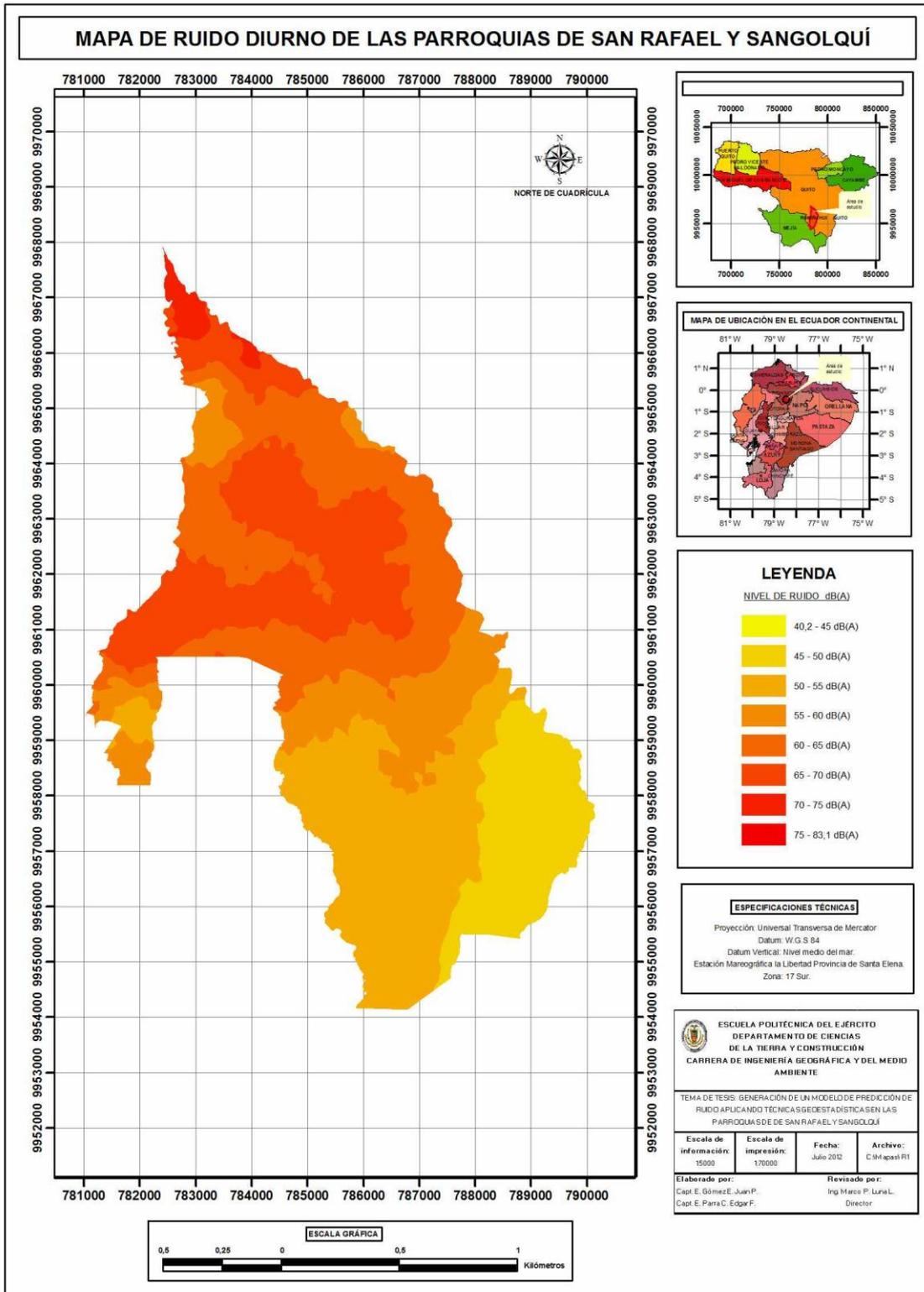


Gráfico 4.5: Errores de predicción para datos de ruido diurno.

El mapa 4.1: Mapa de ruido diurno dB(A) de las parroquias de San Rafael y Sangolquí, presenta la estimación espacial de la variable ruido diurno para cualquier punto en el terreno, por lo que se presenta los siguientes niveles de ruido de acuerdo a la tabla 4.6: Niveles de ruido diurno dB(A) en las parroquias de San Rafael y Sangolquí, tomando como referencia los puntos cardinales.



Mapa 4.1: Mapa de ruido diurno dB(A) de las parroquias de San Rafael y Sangolquí.

Tabla 4.6: Niveles de ruido diurno dB(A) en las parroquias de San Rafael y Sangolquí.

NIVELES DE RUIDO DIURNO dB(A)	
NORTE	65 a 83,1 dB(A)
SUR	40,2 a 55 dB(A)
ESTE	60 a 65 dB(A)
OESTE	45 a 60 dB(A)
CENTRO - ESTE	60 a 70 dB(A)
CENTRO - OESTE	60 a 70 dB(A)

De los datos obtenidos se evidencia que en la parte Norte, Este, Centro Este y Oeste, se concentra los mayores niveles de ruido en dB(A), en el sector de estudio. En la parte Sur y Oeste se concentran los menores niveles de ruido dB(A) en el sector de estudio, de acuerdo a los datos tomados.

4.3.4 Validación cruzada para los datos de ruido diurno

Los valores de los errores calculados se muestran en el gráfico 4.6: Validación cruzada para datos de ruido diurno, los estadísticos de estos errores se presentan en la tabla 4.7; como se observa existen puntos con errores considerables debido a que el programa *Arc Gis/ Geostatistical Wizard*, en su procesamiento toma en cuenta la distancia que existe entre los pares de puntos, a menor distancia el error de predicción será menor y a mayor distancia el error se incrementa.

En nuestra zona de estudio la distancia no es una constante por la variabilidad de las vías. En muchas zonas no existen vías de acceso al área de estudio e inclusive el terreno posee características topográficas muy difíciles.

Esta característica provoca que el error de predicción en la validación se incremente por lo que necesariamente se tendrá que validar en campo para determinar la validez del modelo.

Teniendo presente esta variable de la distancia en la tabla 4.7: Estadísticos de los errores determinados mediante la validación cruzada para los datos de ruido diurno dB(A), se presenta una buena estimación con valor medio de error de -0,04624, teniendo en cuenta que existe un grupo de datos con errores considerables.

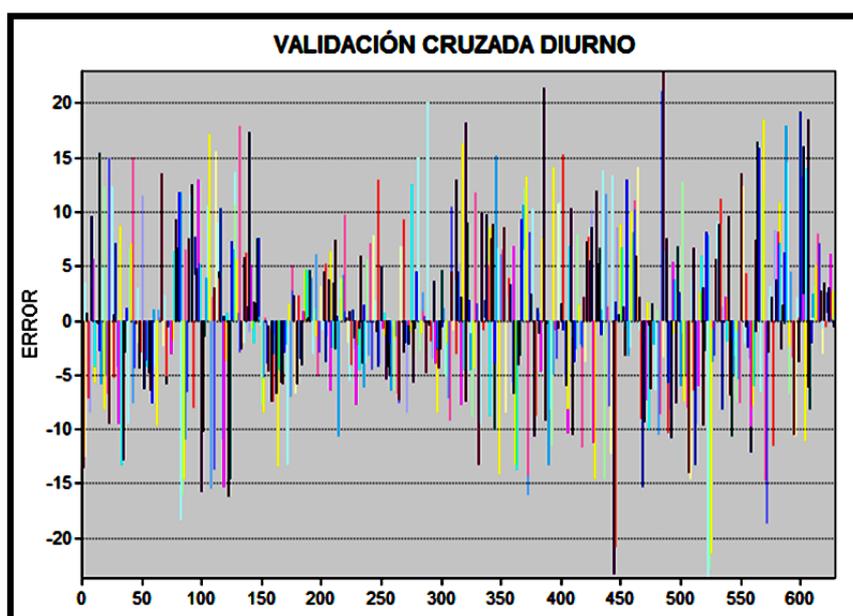


Gráfico 4.6: Validación cruzada para datos de ruido diurno.

Tabla 4.7: Estadísticos de los errores determinados mediante la validación cruzada para los datos de ruido diurno dB(A).

DATOS DE RUIDO DIURNO dB(A)	
Media	-0,04624
Media Estandarizada	-0,006152
Error Medio Cuadrático Estandarizado	1,084

4.3.5 Validación del modelo de ruido diurno con datos tomados en campo

A continuación se toma datos de ruido en campo para validar el modelo de ruido diurno, en la tabla 4.8: Tabla de validación del modelo de ruido diurno, se

exponen los valores tomados en campo y las predicciones generadas con el programa *Arc Gis/ Geostatistical Wizard*.

Tabla 4.8: Tabla de validación del modelo de ruido diurno dB(A).

ORD	ESTE	NORTE	dB(A)	PREDICCIÓN dB(A)	ERROR dB(A)
1	784334,67	9965844,96	70,2	67,11	3,09
2	781679,14	9960380,92	69,5	65,13	4,47
3	783135,73	9961821,43	70,2	66,79	3,41
4	783295,39	9961854,57	68,7	66,72	1,98
5	785094,998	9962745,15	68,3	67,19	1,11
6	785595,37	9962716,71	70,7	66,98	3,72
7	787175,4	9963603,69	64,3	60,68	3,62
8	784153,42	9963621,07	68,7	65,14	3,56
9	783796,68	9963699,79	72,2	71,03	1,17
10	784086,36	9965991,16	74,5	68,77	4,73
11	782933,59	9966731,23	73	72,74	0,26
12	782608,49	9967099,51	68,7	70,98	-2,28
13	784302,77	9965498,73	66,6	67,34	-0,74

Como se aprecia en la tabla 4.8, los errores de predicción del modelo de ruido diurno se encuentran en un promedio de $\pm 2,62$ dB(A), lo que para el presente estudio este error es muy aceptable considerando que la variable ruido no es una constante de la cual se pueda obtener un valor fijo de referencia, lo que demuestra que el modelo de ruido diurno será herramienta útil para los futuros estudios de ruido en horas pico en el cantón de Sangolquí.

Para confirmar lo expuesto en la tabla 4.6, se procedió a tomar datos de ruido en lugares donde no se lo había realizado anteriormente, lo que nos arroja los siguientes datos de acuerdo a la tabla 4.9: Toma de datos de ruido diurno dB(A) en lugares aleatorios.

Tabla 4.9: Toma de datos de ruido diurno dB(A) en lugares aleatorios.

ESTE	NORTE	dB(A)	FRANJA	VALIDO
781673,197	9959950,691	54,1	50 a 55 dB(A)	SI
786716,489	9961101,879	72,4	70 a 75 dB(A)	SI
783483,418	9966371,486	75	70 a 75 dB(A)	SI
784476,061	9964912,86	58,3	55 a 60 dB(A)	SI

Lo que se demuestra que los datos de ruido diurno se encuentran dentro de los parámetros normales.

4.4 ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO PARA DATOS DE RUIDO NOCTURNO

4.4.1 Análisis exploratorio de datos de ruido nocturno

Para realizar los análisis exploratorios de los datos de ruido nocturno, se utiliza el software Excel 2007 y el software estadístico SPSS 17. Del análisis exploratorio de datos diurno se obtiene los siguientes resultados de un conjunto de 107, como se muestra en la tabla 4.10: Estadístico descriptivo para datos de ruido nocturno.

Tabla 4.10: Estadístico descriptivo para datos de ruido nocturno (Promedio del nivel de presión sonora equivalente durante 10 minutos en dB(A)).

MEDIA	63,85047
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	7,78783
VARIANZA	60,65026
COEFICIENTE DE ASIMETRÍA	- 0,58986
MEDIANA	65,40
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	12,1969%
CURTOSIS	-0,41018
MÁXIMO	77,8
MÍNIMO	43,2
MODA	67,4
RANGO	34,6

El coeficiente de variación es de 12,1969% lo que indica un valor medio de variación.

La media es de 63,85047 y la mediana es de 65,40 lo que indica que se encuentran próximos.

El coeficiente de asimetría es de -0,58986 lo que indica que tenemos una curva simétrica negativa por lo que los valores se tienden a reunir más en la parte de derecha que en la izquierda de la media.

No existen valores atípicos, ya que los datos se encuentran dentro de los rango de 40,45 y 88,05. En los siguientes gráficos exploratorios (diagrama 4.3 y 4.4) se puede apreciar los datos expuestos en la tabla 4.8.

Histograma:

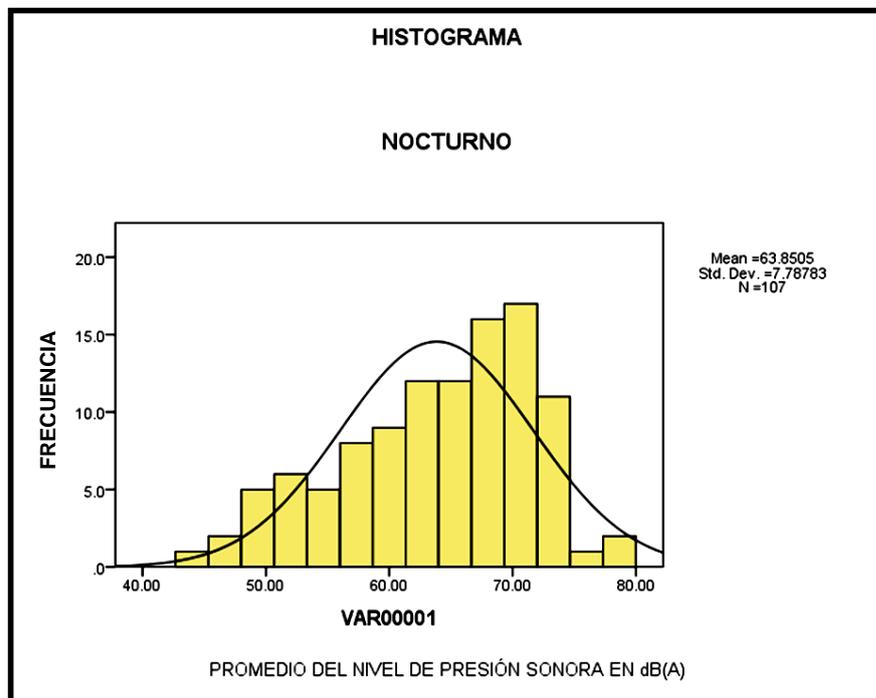


Diagrama 4.3: Histograma de datos de ruido diurno.

Diagrama de caja:

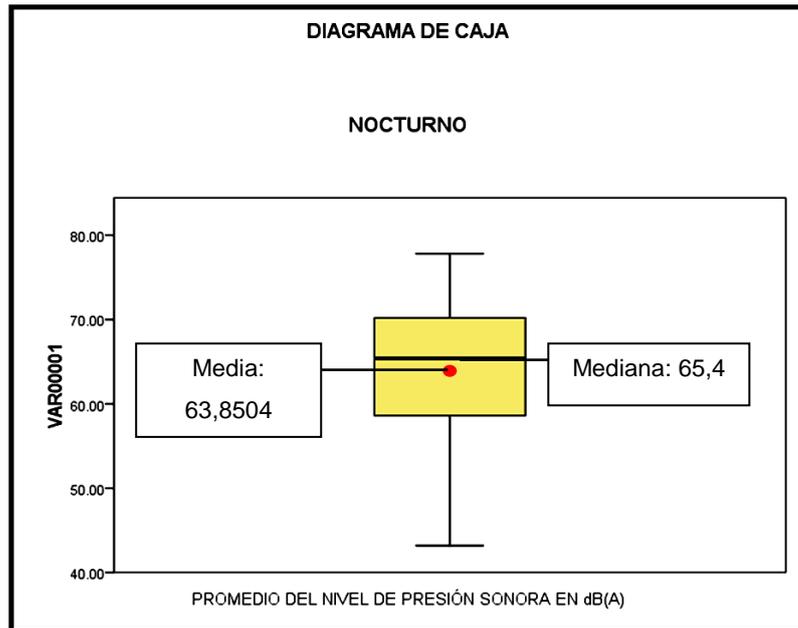


Diagrama 4.4: Diagrama de caja de ruido diurno.

4.4.2 Análisis estructural para datos de ruido nocturno

El gráfico 4.7: Semivariograma experimental para los datos de ruido nocturno, se expone la representación del semivariograma experimental, en donde la línea entrecortada nos da el valor de la varianza total siendo este de 71,6; la etiqueta en cada punto nos da el valor de pares determinados para esa distancia.

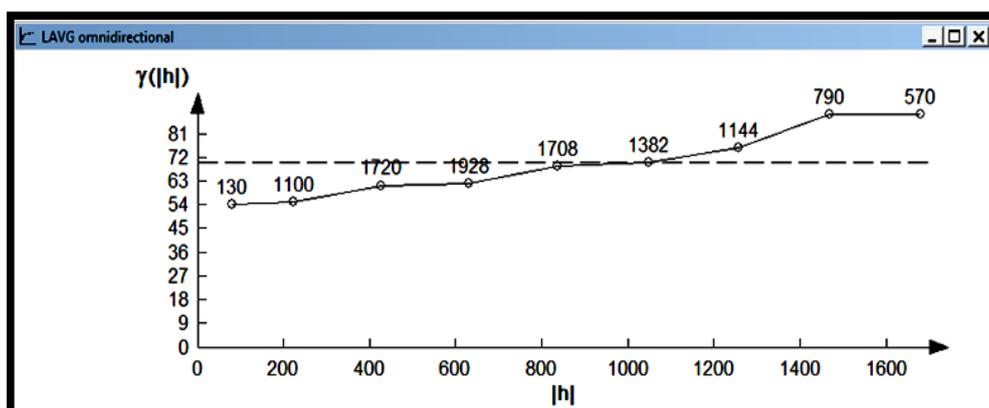


Gráfico 4.7: Semivariograma experimental para los datos de ruido nocturno.

Para determinar cual modelo teórico de semivariograma se ajusta más al semivariograma experimental de los datos de ruido nocturno, a continuación se analizan cada uno de los modelos:

Modelo teórico exponencial: En el gráfico 4.8: Modelo teórico exponencial para los datos de ruido nocturno dB(A), se exponen los parámetros de ajuste al semivariograma experimental de acuerdo a la Tabla 4.3: Parámetros del semivariograma teórico exponencial para datos de ruido diurno dB(A)

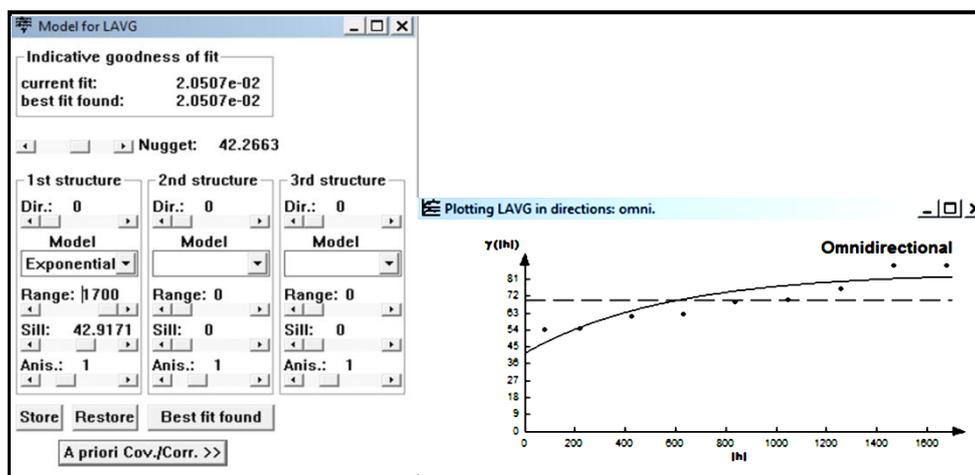


Gráfico 4.8: Modelo teórico exponencial para los datos de ruido nocturno dB(A).

Tabla 4.11: Parámetros del variograma teórico exponencial.

MODELO EXPONENCIAL	
IGF	0,020507
NUGGET (PEPITA)	42,2663
RANGE (RANGO)	1700
SILL (MESETA)	85,18343
Lag	210,458
Number Lag	8

Modelo teórico esférico: En el gráfico 4.9: Modelo teórico esférico para los datos de ruido nocturno dB(A), se exponen los parámetros de ajuste al

semivariograma experimental de acuerdo a la Tabla 4.12: Parámetros del semivariograma teórico esférico para datos de ruido diurno dB(A)

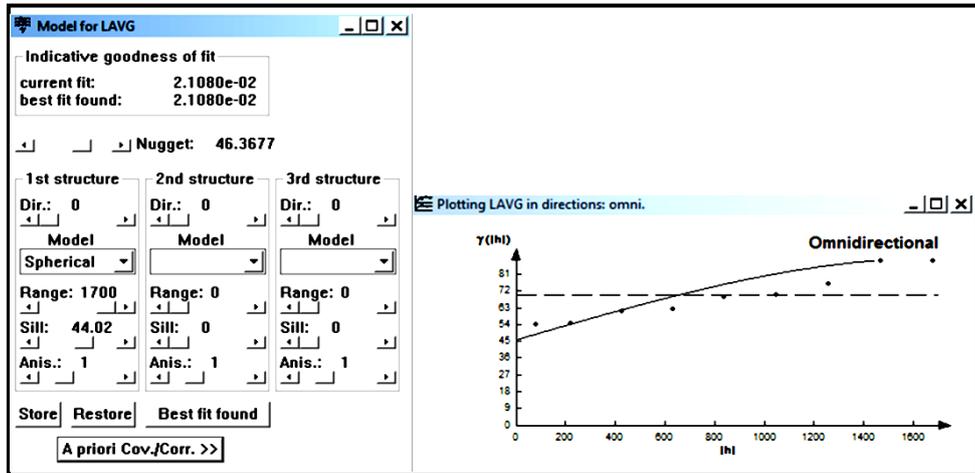


Gráfico 4.9: Modelo teórico esférico para los datos de ruido nocturno dB(A).

Tabla 4.12: Parámetros del variograma teórico gaussiano.

MODELO ESFÉRICO	
IGF	0,021080
NUGGET (PEPITA)	46,3667
RANGE (RANGO)	1700
SILL (MESETA)	90,3877
Lag	210,458
Number Lag	8

Modelo teórico gaussiano: En el gráfico 4.10: Modelo teórico gaussiano para los datos de ruido nocturno dB(A), se exponen los parámetros de ajuste al semivariograma experimental de acuerdo a la Tabla 4.13: Parámetros del semivariograma teórico gaussiano para datos de ruido diurno dB(A)

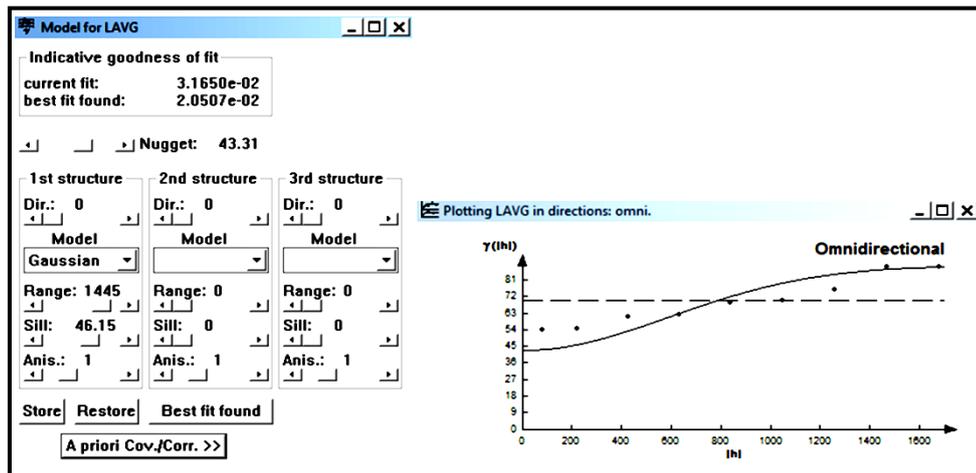


Gráfico 4.10: Modelo teórico gaussiano para los datos de ruido nocturno dB(A).

Tabla 4.13: Parámetros del variograma teórico gaussiano.

MODELO GAUSSIANO	
IGF	0,0316
NUGGET (PEPITA)	43,31
RANGE (RANGO)	1445
SILL (MESETA)	89,46
Lag	210,458
Number Lag	8

De lo analizado anteriormente se puede determinar que el modelo teórico que mejor índice de bondad de ajuste IGF (Indicative goodness of fit) presenta es el modelo exponencial con un IGF de 0,02057 que es próximo a cero lo que muestra una muy buena aproximación al semivariograma teórico.

Los parámetros antes calculados permitirán calcular el modelo matemático del semivariograma teórico exponencial para los datos de ruido nocturno:

$$\gamma(h) = 42,2663 + 42,9171 \left(1 - \exp\left(\frac{-3h}{1700}\right) \right)$$

4.4.3 Predicción espacial para los para datos de ruido nocturno

Ingresado los parámetros del variograma teórico al módulo *Geostatistical Wizard*, se genera el mapa 4.2: Mapa de ruido nocturno para la parroquia de San Rafael, con un error medio cuadrático estandarizado de 1,081 que está próximo a cero, lo que indica un buen ajuste de los datos como se expone en el gráfico 4.11: Errores de predicción para datos de ruido nocturno.

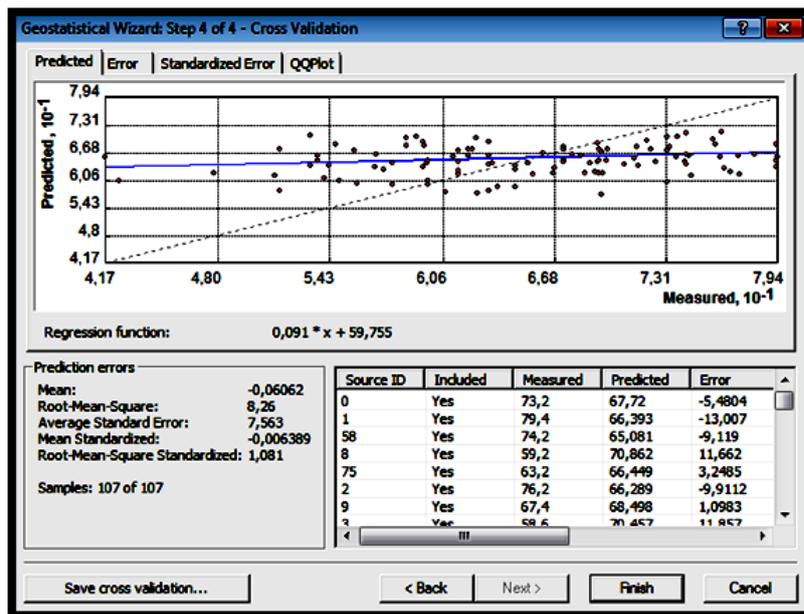
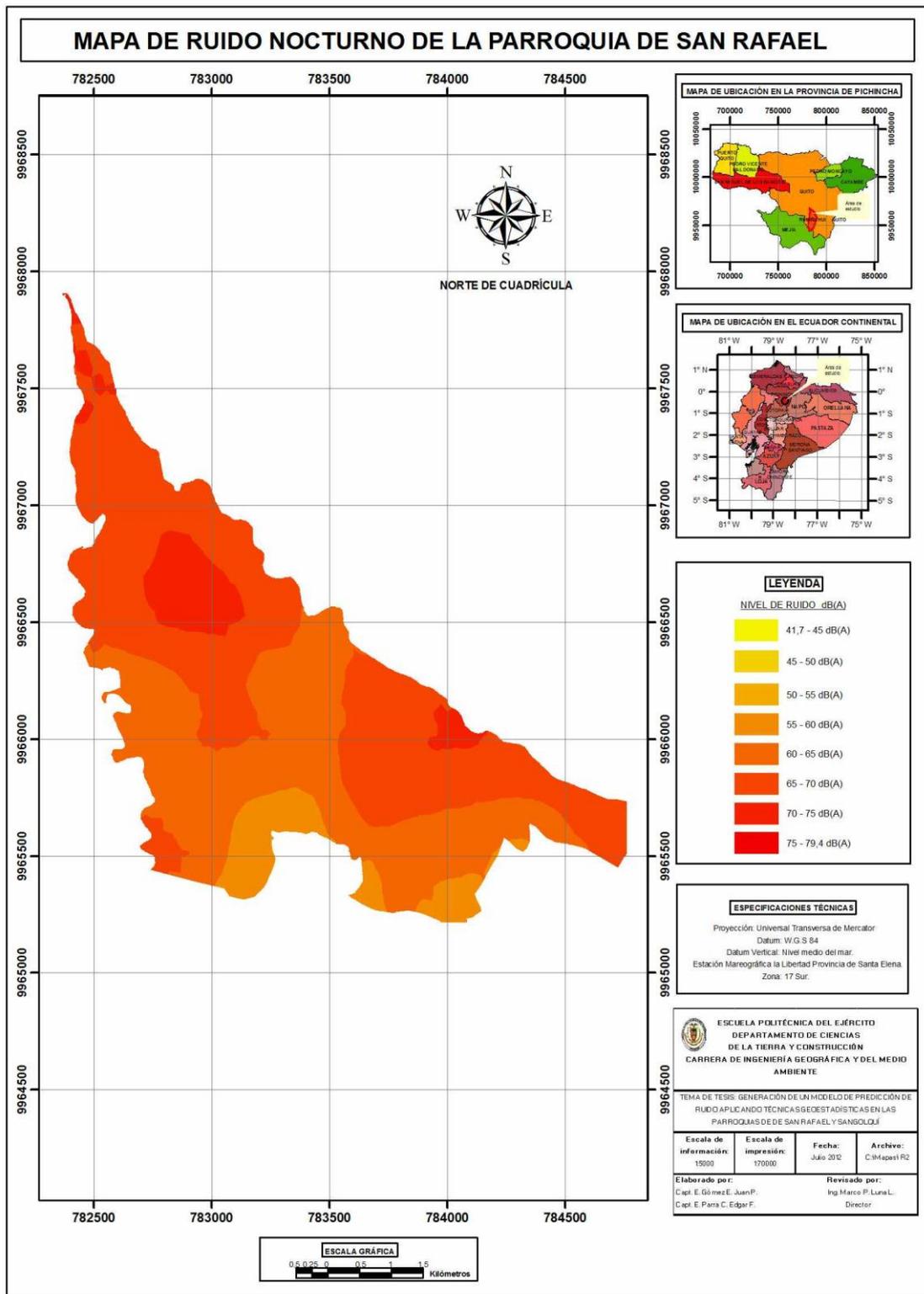


Gráfico 4.11: Errores de predicción para datos de ruido nocturno.

El mapa 4.2: Mapa de ruido nocturno dB(A) de la parroquia de San Rafael, presenta la estimación espacial de la variable ruido diurno para cualquier punto en el terreno, por lo que se presenta los siguientes niveles de ruido de acuerdo a la tabla 4.14: Niveles de ruido nocturno dB(A) en la parroquia de San Rafael, tomando como referencia los puntos cardinales.



Mapa 4.2: Mapa de ruido nocturno dB(A) de la parroquia de San Rafael.

Tabla 4.14: Niveles de ruido nocturno dB(A) en la parroquia de San Rafael.

NIVELES DE RUIDO NOCTURNO dB(A)	
NORTE	70 a 79,4 dB(A)
SUR	45 a 55 dB(A)
ESTE	60 a 75 dB(A)
OESTE	45 a 65 dB(A)

De los datos obtenidos se evidencia que en la parte Norte y Oeste, se concentra los mayores niveles de ruido en dB(A), en el sector de estudio.

En la parte Sur y Este se concentran los menores niveles de ruido dB(A) en el sector de estudio, de acuerdo a los datos tomados.

4.4.4 Validación cruzada para los datos de ruido nocturno

Los valores de los errores calculados se muestran en el gráfico 4.12: Validación cruzada para datos de ruido nocturno, los estadísticos de estos errores se presentan en la tabla 4.15; como se observa existen puntos con errores considerables debido a que el programa Arc Gis/ Geostatistical Wizard, en su procesamiento toma en cuenta la distancia que existe entre los pares de puntos, a menor distancia el error de predicción será menor y a mayor distancia el error se incrementa.

En nuestra zona de estudio la distancia no es una constante por la variabilidad de las vías, ya que en muchas zonas especialmente en las que se encuentra los condominios habitacionales no permite tener una uniformidad en la toma de datos de ruido e inclusive en algunos sectores han cerrado las vías con muros. Esta característica provoca que el error de predicción en la validación cruzada se incremente por lo que necesariamente se tendrá que validar en campo para determinar la validez del modelo.

Teniendo presente esta variable de la distancia en la tabla 4.15: Estadísticos de los errores determinados mediante la validación cruzada para

los datos de ruido nocturno dB(A), se presenta una buena estimación con valor medio de error de -0,06062, teniendo presente que existe un grupo de datos con errores considerables.

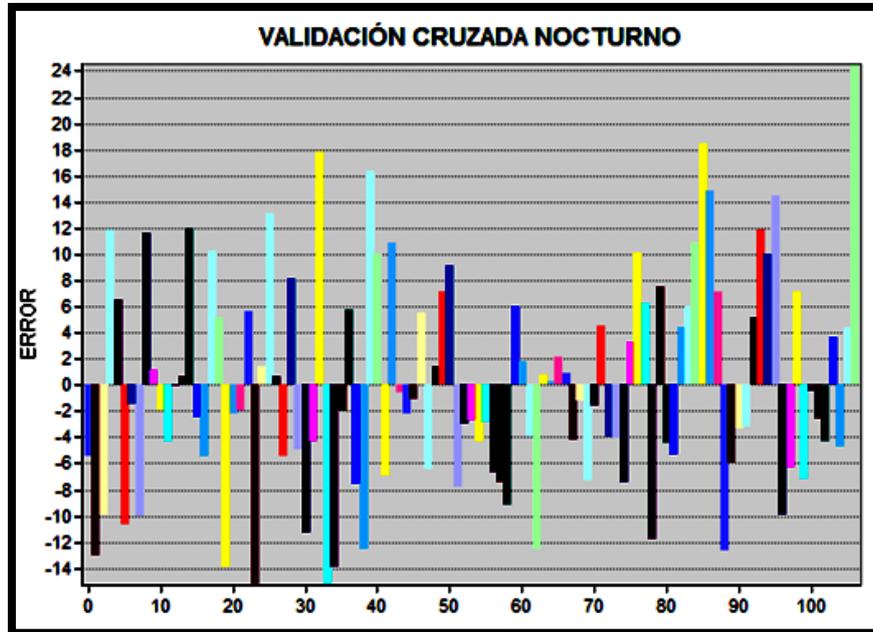


Gráfico 4.12: Validación cruzada para datos de ruido nocturno nocturno.

Tabla 4.15: Estadísticos de los errores determinados mediante la validación cruzada para los datos de ruido nocturno dB(A).

DATOS DE RUIDO NOCTURNO dB(A)	
Media	-0,06062
Media Estandarizada	-0,006389
Error Medio Cuadrático Estandarizado	1,081

4.4.5 Validación del modelo de ruido nocturno con datos tomados en campo

A continuación se toma datos de ruido en campo para validar el modelo de ruido nocturno, en la tabla 4.16: Tabla de validación del modelo de ruido

nocturno, se exponen los valores tomados en campo y las predicciones generadas con el programa *Arc Gis/ Geostatistical Wizard*.

Tabla 4.16: Tabla de validación del modelo de ruido nocturno dB(A).

ORD	ESTE	NORTE	dB(A)	PREDICCIÓN dB(A)	ERROR dB(A)
1	782608,485	9967099,510	70,2	67,96	2,24
2	782446,051	9967263,973	67,9	68,50	-0,60
3	782543,009	9967049,396	69,1	66,48	2,62
4	782775,170	9967040,691	69,8	69,26	0,54
5	782917,713	9966901,850	66,4	68,08	-1,68
6	783091,675	9966603,619	68,4	67,93	0,47
7	783279,841	9966484,249	64,1	64,62	-0,52
8	783459,097	9966527,688	66,8	67,00	-0,20
9	783297,547	9966289,733	64,4	64,81	-0,41
10	783142,002	9966133,147	68,6	66,86	1,74
11	783441,938	9965688,980	58,6	64,75	-1,33
12	783397,105	9965739,560	59,2	63,23	-1,51
13	783194,080	9965778,906	65,8	62,23	2,30
14	783070,307	9966095,065	67,4	60,12	1,64
15	783022,100	9966187,003	63,1	59,93	-3,47
16	782642,242	9966428,163	64,2	60,71	-2,25

Como se aprecia en la tabla 4.16, los errores de predicción del modelo de ruido diurno se encuentran en un promedio de $\pm 1,47$ dB(A), lo que para el presente estudio este error es muy aceptable considerando que la variable ruido no es una constante.

Los errores de la tabla 4.16 son menores que en la tabla 4.8 de ruido diurno, esto debido que en la parroquia de San Rafael ofrece la posibilidad física de tomar puntos de muestreo de una manera casi uniforme lo que no ocurrió en la parroquia de Sangolquí.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

1. El modelo de predicción de ruido diurno generado requirió de 630 puntos de localización espacial de medición distribuidos a lo largo de las parroquias de San Rafael y Sangolquí; mientras que el modelo de predicción de ruido nocturno generado requirió de 107 puntos de localización espacial de medición distribuidos a lo largo de la parroquia de San Rafael.
2. El ruido que generan las parroquias de San Rafael y Sangolquí durante el día y San Rafael durante la noche, es un ruido fluctuante ya que las fluctuaciones en el nivel de ruido fueron superiores a los 5 dB(A) medidos durante un minuto.
3. El sonómetro utilizado para determinar el ruido en las parroquias de San Rafael y Sangolquí diurno y San Rafael nocturno es de tipo 1 el cual permite realizar trabajos con una precisión de +/- 0,7 dB(A) y permite trabajar con un filtro de ponderación A, que mide la respuesta del oído a intensidades bajas y es lo más semejante a la percepción del oído humano.
4. No se toma en cuenta el ruido de fondo, debido a que la diferencia aritmética entre el ruido tomado en los puntos de muestro y el ruido de fondo obtenido en los lugares correspondiente exceden de 10, por lo que la corrección es de 0.
5. De acuerdo con los datos de ruido diurno obtenidos en campo se obtiene que el 9,52% de los datos oscilan de 40,2 dB(A) a 49,8 dB(A), el 22,22% de los datos oscilan de 50,2 dB(A) a 59,9 dB(A), el 37,30% de los datos oscilan de 60 dB(A) a 69,9 dB(A) y el 30,95 % de los datos oscilan de 70 dB(A) a 83,1 dB(A). Relacionado con el T.U.L.A.S, Anexo 5, página 4, Tabla 1: Niveles máximos de ruido permisibles según uso de suelo, el 37,30% de los datos corresponderían a una zona comercial a comercial mixta, el 30,95 %

a una zona industrial, el 22,22% a una zona residencial a residencial mixta y el 9,52% a una zona hospitalaria y educativa. Estos datos iniciales en campo nos da un diagnóstico de que las parroquias de San Rafael y Sangolquí poseen una contaminación acústica.

6. Los datos de ruido nocturno en campo, arrojan los siguientes datos: el 50,46% de los datos se encuentran entre 65,4 dB(A) a 77,8 dB(A), el 43,92% de los datos entre 50,10 dB(A) a 64,9 dB(A) y el 5,6% de los datos entre 43,2 dB(A) a 49,8 dB(A). Realizando la comparación con el T.U.L.A.S, Anexo 1, página 4, Tabla 1, tenemos que los datos corresponderían a: el 50,46% a una zona industrial, el 43,92% a una zona comercial a comercial mixta y solamente el 5,6% a una zona residencial a residencial mixta, lo que nos da un diagnóstico inicial de que la parroquia de San Rafael nocturno posee una contaminación acústica.
7. De acuerdo al análisis exploratorio de datos de ruido diurno se puede considerar a las parroquias de San Rafael y Sangolquí como ruidosas, ya que más del 50% de los datos sobrepasan los niveles de ruido de 64,12 dB(A). Considerando que este nivel de ruido corresponde de acuerdo al T.U.L.A.S, Anexo 5, página 4, Tabla 1, a una zona entre comercial de 60 dB(A) a comercial mixta de 65 dB(A).
8. Correspondiente a los datos de ruido nocturno, inicialmente el análisis exploratorio de datos indican que más del 50% de los datos sobrepasan los niveles de ruido de 63,85 dB(A), por lo que se puede considerar a la parroquia de San Rafael como ruidosa. El nivel de ruido corresponde de acuerdo al T.U.L.A.S, Anexo 5, página 4, Tabla 1, a una zona entre comercial mixta de 55dB(A) a industrial de 65 dB(A).
9. El coeficiente de variación de los datos de ruido diurno y nocturno de 14,40% y 12,19% respectivamente, indican una buena predicción para la investigación.

10. El análisis estructural, como una fase de la geoestadística, permitió regionalizar la variable de ruido diurno en horas pico de 06:30 a 09:00 a.m para las parroquias de San Rafael y Sangolquí y ruido nocturno en la parroquia de San Rafael en horas pico de 08:00 a 09:30 p.m.
11. La mejor adaptación a los pares de puntos de datos de ruido diurno y nocturno para ajustar el semivariograma experimental a teórico es el esférico y exponencial respectivamente, donde la pepita no sobrepasa del 50% de la meseta por lo que los modelos están ajustados a la realidad, además permiten minimizar el error medio cuadrático estandarizado lo más próximo a uno.
12. Se ingresan los parámetros del semivariograma teórico tanto de los datos de ruido diurno como nocturno, calculados en el *software Variowin* a la extensión *Geostatistical Analyst de ArcGis 9.3*, para obtener como resultado modelos de predicción con un mayor índice de ajuste y minimización del error medio cuadrático estandarizado.
13. Los modelos de predicción de ruido diurno y nocturno ofrecen un adecuado error medio cuadrático estandarizado tendiendo a 1, por lo que las estimaciones de los puntos estarán dentro de los niveles de ruido tomados en campo.
14. En la Tabla 5.1: Niveles de ruido ambiental diurno por usos de suelo en San Rafael y Sangolquí y en la Tabla 5.2: Niveles de ruido ambiental nocturno por uso de suelo en San Rafael, se relacionan el uso del suelo, de acuerdo al: *“Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, elaborado por la Dirección de Planificación – Equipo Técnico del Plan de Ordenamiento Territorial, de acuerdo a la Ordenanza de Uso y Ocupación del Suelo del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui de Abril 2012”* y los niveles hallados en cada una de ellas:

Tabla 5.1: Niveles de ruido ambiental dB(A) diurno por usos de suelo en San Rafael y Sangolquí

ZONA GEOGRÁFICA	USO DE SUELO	NIVELES DE RUIDO DIURNO DE 06:30 A 09:00 A.M	
		Leq dB(A)	Comparación con la norma
Nor - Oriental	Residencial 2	60 a 65	Excede
	Residencial comercial 2	70 a 75	Excede
	Equipamiento 2	65 a 70	No en norma
Nor - Occidental	Residencial1	55 a 70	Excede
	Residencial 2	70 a 75	Excede
	Residencial comercial 2	55 a 60	No excede
		75 a 85,3	Excede
Centro – Oriental	Residencial1	65 a 70	Excede
		70 a 75	Excede
	Residencial 2	60 a 65	Excede
		70 a 75	Excede
	Residencial comercial 2	70 a 75	Excede
	Equipamiento 1	70 a 75	No en norma
	Equipamiento 2	70 a 75	No en norma
Centro - Occidental	Residencial 2	45 a 50	No excede
		65 a 70	Excede
		70 a 75	Excede
	Residencial comercial 2	65 a 70	Excede
		70 a 75	Excede
	Industrial 1	60 a 65	No excede
		65 a 70	No excede
		70 a 75	Excede
	Industrial 2	70 a 75	Excede
		65 a 70	No excede
Sur – Oriental	Residencial1	50 a 55	No excede
		60 a 65	Excede
	Residencial 2	50 a 55	No excede
	Industrial 2	65 a 70	No excede
	Área rural	40,2 a 45	No en norma
		45 a 50	No en norma
Sur – Occidental	Residencial 2	65 a 70	Excede
	Área rural	45 a 50	No en norma

Tabla 5.2: Niveles de ruido ambiental dB(A) nocturno por uso de suelo en San Rafael.

ZONA GEOGRÁFICA	USO DE SUELO	NIVELES DE RUIDO NOCTURNO DE 08:00 A 09:30 P.M	
		Leq dB(A)	Comparación con la norma
Norte	Residencial 2	70 a 75	Excede
	Residencial comercial 2	65 a 70	Excede
		70 a 75	Excede
	Equipamiento 2	70 a 75	No existe
		75 a 83,1	No existe
Sur	Residencial 2	65 a 70	Excede
	Residencial comercial 2	65 a 70	Excede
		70 a 75	Excede
Este	Residencial comercial 2	65 a 70	Excede
		70 a 75	Excede
		75 a 83,1	Excede
Oeste	Residencial comercial 2	65 a 70	Excede
		70 a 75	Excede
		75 a 83,1	Excede

De lo expuesto en la Tabla 5.1: Niveles de ruido ambiental diurno por usos de suelo en San Rafael y Sangolquí, obtenemos que 3 zonas residenciales de 32 zonas residenciales, no exceden de los límites permisibles de ruido, ubicadas en: vía Hacienda IASA – 1, en el sector de la Pradera y frente al ingreso a los cuarteles de la Balvina, 1 zona residencial comercial de 15 zonas residenciales comerciales, ubicada en: la calle los viñedos y 4 zonas industriales de 12 zonas industriales, ubicadas en: la panamerica Sur y pasaje Naranjales. Casi la totalidad de las zonas se encuentran excediendo la norma permisible.

De la Tabla 5.2: Niveles de ruido ambiental nocturno por uso de suelo en San Rafael, se obtiene que todas las zonas según uso de suelo se encuentran excediendo la norma permisible.

- 15.El exceso de ruido en casi la totalidad de las zonas se debe a factores como: aumento del parque automotor, tránsito de vehículo pesados, equipo de construcción, construcción de viviendas y comercios, aumento en la

actividad comercial, de ocio y diversión, ruido de vecindario en especial de perros y sobre todo a la falta de vías de descongestionamiento considerando que por el cantón Rumiñahui es un paso obligado para dirigirse a la región Sierra y Oriente del país.

16. Los mapas de predicción de niveles de ruido diurno y nocturno servirán de apoyo para control y monitoreo permanente en el área urbana y rural del Gobierno Municipal de Rumiñahui en horas pico.
17. Mediante la validación cruzada realizada a los mapas de predicción de ruido diurno y nocturno respectivamente, se encontró grupos de datos con errores considerables, lo que determina que la varianza en común de los pares de puntos disminuye cuando la distancia aumenta, es decir sus valores se tornan menos similares cuando la distancia crece.
18. Para validar el modelo de ruido diurno, se comparó con datos tomados al azar en diferentes sitios a los muestreados y con datos en los puntos ya medidos tomando como referencia los valores de predicción, dando como resultado errores que varían entre $\pm 2,62$ dB(A) y para el modelo de ruido nocturno de la parroquia de San Rafael se comparo con datos en los puntos ya medidos tomando como referencia los valores de predicción, dando como resultado errores que varía entre $\pm 1,47$ dB(A), por lo que los mapas de ruido diurno y nocturno respectivamente presentan una buena predicción en el área de investigación que será útil para investigaciones posteriores.

5.2 RECOMENDACIONES

1. Antes de realizar el estudio de ruido en campo siempre se debe calibrar el sonómetro antes y después de cada sesión para obtener resultados coherentes en campo.
2. Aumentar la nube de puntos de muestreo para obtener modelos de ruido más exactos e incluso iniciar las mediciones de ruido durante el día y la noche para complementar lo ya realizado.
3. Reducir las distancias de punto a punto, en lo posible mantener una constante para no obtener errores de consideración en la validación cruzada y no altere el mapa de predicción que se esté realizando.
4. Planificar vías de descongestión vehicular para disminuir los niveles de ruido en las zonas de estudio.
5. Establecer medidas preventivas y pasivas para poder combatir los niveles de ruido, estableciendo directrices claras de como bajar los niveles de ruido en los diferentes sectores de acuerdo al uso de suelo como por ejemplo: en las zonas residenciales colocar barrera naturales como arboles para atenuar los efectos del ruido, en las zonas educativas y hospitalarias aumentar y engrosar las paredes para provocar el choque de las ondas de ruido, en las vías en general colocar instrumentos que permitan que los vehículos bajen la velocidad; teniendo presente que en el cantón Rumiñahui no existe una distribución adecuada del uso de suelo ya que en muchas calles se mezcla la actividad educativa con la comercial y residencial lo que incide directamente en el malestar de la población.
6. Es necesario implementar un centro de revisión vehicular y de motocicletas para dar el visto bueno de circulación, ya que muchos de estos automotores y motocicletas no cumplen con las normas técnicas correspondientes.

7. Restricción vehicular en el centro de la parroquia de Sangolquí y remover de su centro histórico al mercado municipal que incide directamente en los niveles de ruido por su actividad comercial.
8. Imponer horarios de circulación de equipo pesado en lo preferible durante la noche hasta que se construya nuevas vías de acceso.
9. Establecer políticas claras de uso de suelo y si las hay aplicarlas con todo el rigor de la ley, debido a que el auge comercial, industrial e inmobiliario, esta provocando un crecimiento desmesurado y sin control que influye directamente en los niveles de ruido.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ILUSTRE MUNICIPIO DEL D.M.Q, Ordenanza Metropolitana de Quito No.0123. (2004).
- INTERNATIONAL STANDARD, ISO (1999): Determination of occupational noise exposure and estimation of noise induced hearing impairment. (ISO 1999: 1990).
- TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA, T.U.L.A.S (1998).
- REGLAMENTO GENERAL DEL SEGURO DE RIESGOS DEL TRABAJO, I.E.S.S. (1990).
- LA ORDENANZA DE GESTIÓN AMBIENTAL, DEL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DE RUMIÑAHUI. (2009)
- LUNA MARCO P., (2010). Análisis y aplicación de técnicas geoestadísticas para la clasificación agrológica de suelos de la hacienda el prado IASA-ESPE.
- MYERS D.E (1998). Optimization of sampling locations for variogram calculations, water resources research.
- ALFONSO DE ESTEBAN ALONSO (1992). Contaminación acústica y salud.
- TIPPENS PAÚL E. (1991). Física.Conceptos y aplicaciones, tercera edición, McGraw-Hill.
- HEWITT PAÚL G (2007). Física conceptual, décima edición, Pearson educación.
- ROBERT BARTI (2010). Acústica Ambiental.
- FALC EDVARD (2009). Guía ambiental para el manejo de problemas de ruido en la industria minera,
- RUZA F (1998). El ruido del tráfico: Evaluación y corrección de su impacto. Simposio sobre Impacto Ambiental de Carreteras, PIARC, España.

- BRUUSGARD A., FORSSMAN S., GOLDWATER L., NORO L., SCHOID M., (1963): Occupational health for developing countries, Ginebra. O.M.S.
- BELL ALAIN (1969). El Ruido, riesgo para la salud de los trabajadores y molestia para el público.
- Organización Mundial de la Salud, O.M.S (1999). Guías para el ruido urbano.
- Unión Europea, U.E (2007). Desarrollo sostenible, cambio global y ecosistemas, Planes de Acción Contra el Ruido en el Ámbito Local.
- United States Environmental Protection Agency, E.P.A (1971). Effects of Noise on Wildlife and Other Animals.
- Universidad de Málaga (2008). Bioestadística.
- GIRALDO, Ramón, Introducción a la Geoestadística, Teoría y Aplicación, Universidad Nacional de Colombia, p. 17,18
- MARTÍN A., LUNA DEL CASTILLO J. (1994). Bioestadística para las Ciencias de la salud.
- KOCH A., CABRERA, P. (1997). Variografía.
- Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, Dirección General de Carreteras, Francia (1995). Reducción del ruido en el entorno de las carreteras, OCDE.
- <http://www.cic.gba.gov.ar/lal/inv/6.pdf>
- www.cienciaytrabajo.cl/pdfs/20/pagina%2058.pdf
- <http://www.bvsde.paho.org/bvsci/e/fulltext/ruido/ruido2.pdf>
- <http://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/niveles.htm>
- <http://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/niveles.htm>
- <http://www.doctorproaudio.com/content.php?145-ponderaciones-weightings-frecuencia-ABC>
- <http://www.almansa.es/Agenda21>
- <http://www.gisiberica.com/sonometros/sonometros.htm>
- <http://www.Quest-Technologies.com>
- http://www.automagazine.ec/autos-industria/industria-articulos/noticias/4/pichincha_tendra_tren_elevado_entre_los_chillos_y_quito_en_el_2015.html

- <http://www.iec.ch/about/values/>

7 HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS

ELABORADO POR

Juan Pablo Gómez Espinoza

Edgar Fernando Parra Cárdenas

**DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERIA
GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

Ingeniero Francisco León

8 DELEGADO UNIDAD DE ADMISION Y REGISTRO

Dr. Marcelo Mejía

Lugar y fecha: Sangolquí, 27 de Julio de 2012